



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE FÍSICA
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

PATRÍCIA DOS SANTOS ROCHA GOMES

DOS MISTÉRIOS DA LUZ AO FUNCIONAMENTO DO LASER

FORTALEZA

2025

PATRÍCIA DOS SANTOS ROCHA GOMES

DOS MISTÉRIOS DA LUZ AO FUNCIONAMENTO DO LASER

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Andrey Chaves

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

G616m Gomes, Patrícia dos Santos Rocha.

Dos mistérios da luz ao funcionamento do laser / Patrícia dos Santos Rocha Gomes. – 2025.
282 f. : il. color.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Física, Fortaleza, 2025.

Orientação: Prof. Dr. Andrey Chaves.

1. Física Moderna. 2. ensino de Física. 3. metodologias ativas. 4. laser. 5. estação por rotação. I. Título.
CDD 530

PATRÍCIA DOS SANTOS ROCHA GOMES

DOS MISTÉRIOS DA LUZ AO FUNCIONAMENTO DO LASER

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada em: 28 / 07 / 2025

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Andrey Chaves (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Carlos Alberto Santos de Almeida
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Jusciane da Costa e Silva
Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA)

Dedico este trabalho à Universidade Federal do Ceará, à Sociedade Brasileira de Física, à minha família e à minha escola EEMTI José Valdo Ribeiro Ramos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me tornar capaz de realizar meus projetos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – (código de financiamento 001), pelo suporte e bolsa de mestrado concedido ao programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física.

À minha família, pais (Joserisse e Marilac), irmãos (Natália, Marília e Junior) e ao meu esposo Raimundo Gomes, que cuidaram dos meus filhos Raylson (12 anos) e Rayssa (3 anos) durante todo o processo de estudos, aulas e pesquisa, além de me darem suporte emocional e da organização das atividades diárias.

Ao meu orientador Andrey Chaves pela paciência e dedicação no desenvolvimento da dissertação e de nosso produto educacional.

A todos os professores da MNPEF da Universidade Federal do Ceará, pelo trabalho e as aulas ministradas.

A todos os professores da minha escola EEMTI José Valdo Ribeiro Ramos, que me ajudaram a desenvolver esse projeto em nosso ambiente escolar, além de me darem suporte no desenvolvimento do produto, agradeço em especial à minha área de Ciências da Natureza e Matemática. Também agradeço à Maria Lucineide Freire de Almeida pelo auxílio em uma das estações do estudo das ondas.

Aos meus gestores, ao diretor Paulo Roberto Ângelo da Silva, que sempre apoiou meu desenvolvimento e minha admissão no MNPEF. Aos meus coordenadores, em especial à coordenadora Maria Vânia Maia, que sempre esteve presente em todos os momentos do trabalho.

E a todos que contribuíram para eu conseguir concluir este trabalho.

[...] se soubermos o presente exatamente, podemos prever o futuro', o que está errado não é a conclusão, mas sim a premissa. Nós não podemos, por uma questão de princípios, conhecer o presente em todos os seus detalhes (Eisberg; Resnick, 1994, p. 114).

RESUMO

Nesta dissertação, apresentamos uma discussão sobre o desenvolvimento e aplicação de um produto educacional cujo objetivo principal é aprimorar o ensino de Física Moderna no Ensino Médio, focando na compreensão do funcionamento, características e aplicações de lasers a partir dos princípios físicos que foram aplicados para o desenvolvimento da sua criação. Para isso, elaboramos uma sequência didática baseada nas metodologias ativas, como rotação por estação e cultura *maker*, fundamentando-se nas teorias de Piaget e Vygotsky, para estimular a construção ativa do conhecimento. Nosso objetivo foi desenvolver nos alunos o interesse e uma melhor compreensão dos fenômenos físicos envolvidos na luz laser, fundamentando-se na experimentação e na interação em grupo, a fim de facilitar a compreensão de conceitos fundamentais através de 6 aulas que tiveram como temas centrais: a luz, o efeito fotoelétrico, o salto quântico e a emissão estimulada de radiação, o funcionamento do LED e o funcionamento do laser. Assim, a aplicação do produto educacional buscou deixar a Física Moderna mais acessível e atrativa com as metodologias ativas, ao mesmo tempo que promoveu maior engajamento entre os estudantes e fortaleceu a relação entre os conceitos teóricos e suas aplicações tecnológicas. A escolha do tema se mostrou adequada, uma vez que a luz laser possui várias aplicações no dia a dia, o que torna o tema mais palpável para os alunos, servindo assim de motivação e atraindo o interesse, além de envolver conceitos e ferramentas matemáticas condizentes tanto com experimentos qualitativos quanto com experimentos quantitativos ainda dentro do nível de aprendizagem de alunos do ensino médio. Podemos concluir que nossa pesquisa contribuiu para a modernização do ensino de Física, fornecendo um material didático estruturado que pode ser replicado por professores que pretendam desafiar os alunos a compreenderem melhor a luz laser.

Palavras-chave: Física Moderna; ensino de Física; metodologias ativas; laser; estação por rotação.

ABSTRACT

In this dissertation, we present a discussion on the development and application of an educational product whose main objective is to improve the teaching of Modern Physics in High School, focusing on the understanding of the functioning, characteristics and applications of lasers based on the physical principles that were applied in the development of its invention. To this end, we developed a didactic sequence based on active methodologies, such as rotation by station and *maker culture*, based on the theories of Piaget and Vygotsky, to stimulate the active construction of knowledge. Our main goal was to develop in students the interest and a better understanding of the physical phenomena involved in laser light, based on experimentation and group interaction, in order to facilitate the understanding of fundamental concepts through 6 classes that had as central themes: light, the photoelectric effect, the quantum leap and stimulated emission of radiation, the functioning of the LED and the functioning of the laser. Thus, the application of the educational product sought to make Modern Physics more accessible and attractive with active methodologies, while promoting greater engagement among students and strengthening the relationship between theoretical concepts and their technological applications. The choice of the topic proved to be appropriate, since laser light has several applications in everyday life, which makes the topic more understandable for students, thus serving as motivation and attracting interest, in addition to involving mathematical concepts and tools consistent with both qualitative and quantitative experiments still within the learning level of high school students. We can conclude that our research contributed to the modernization of Physics teaching, providing structured teaching material that can be replicated by teachers who intend to challenge students to better understand laser light.

Keywords: Modern Physics; Physics teaching; active methodologies; laser; rotation station.

LISTAS DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Onda eletromagnética.....	43
Figura 2 – Espectro eletromagnético	46
Figura 3 – Padrão de interferência da dupla fenda	49
Figura 4 – Gráfico da distribuição de valores possíveis de energia	52
Figura 5 – Aparelho usado para estudar o efeito fotoelétrico.....	54
Figura 6 – Energia cinética dos fotoelétrons na superfície versus a frequência da radiação incidente.....	56
Figura 7 – Exemplo esquemático da estrutura de bandas em um sólido.....	66
Figura 8 – Estrutura de bandas	67
Figura 9 – Existência do buraco no processo de ligação atômica em um cristal de Si. O buraco se move na direção oposta à dos elétrons quando aplicamos um campo elétrico ao sistema. Assim, o buraco acaba se comportando como uma partícula de carga positiva	69
Figura 10 – Elétron livre devido à impureza de Fósforo em um cristal de Silício	70
Figura 11 – Apresentação do buraco no semicondutor Tipo P.....	71
Figura 12 – Esquema ilustrando o funcionamento de um LED	76
Figura 13 – Cores de LEDs e sua dependência sobre o comprimento de onda, tensão aplicada e materiais que os compõem	77
Figura 14 – Esquema da estrutura de um LED.....	78
Figura 15 – Esquema do primeiro laser de rubi.....	81
Figura 16 – Esquema ilustrando as sucessivas reflexões até o alinhamento dos fótons na cavidade ressonante	82
Figura 17 – Um elétron no estado excitado retorna ao nível inicial emitindo dois fótons, amplificando a radiação.....	84
Figura 18 – Esquema ilustrando um laser de Rubi bombeado por lâmpada de flash.....	85
Figura 19 – Níveis de energia e transição de laser em átomos de neônio	86
Figura 20 – Módulo de laser de fibra óptica.....	87
Figura 21 – Fluorescência de uma solução de cumarina excitada por um laser a 400 nm	87
Figura 22 – Esquema que representa um sistema de um diodo laser	88
Figura 23 – Tempestade de ideias sobre o laser	111
Figura 24 – Estações do circuito das luzes	113
Figura 25 – Organização dos grupos no circuito das luzes	113

Figura 26 – Kits estação de micro-ondas.....	114
Figura 27 – Material de experimentação para perceber a luz ultravioleta.....	118
Figura 28 – Conhecendo o circuito elétrico.....	120
Figura 29 – Kits da estação descobrindo o elétron.....	121
Figura 30 – Kits da estação efeito fotoelétrico	122
Figura 31 – Polos do LED	122
Figura 32 – Indicação de onde colocar cada polo do LED.....	123
Figura 33 – Como colocar cada polo do LED	123
Figura 34 – Cores emitidas pelos sais no teste da chama	126
Figura 35 – Estações do teste da chama	127
Figura 36 – Registro de cores	128
Figura 37 – Registro de comprimentos de onda	128
Figura 38 – Registro de composto químico.....	128
Figura 39 – Tabela de elementos do LED	130
Figura 40 – Kit para o circuito de LED	130
Figura 41 – Circuito de LED	131
Figura 42 – Registro da cor do LED.....	131
Figura 43 – Registro da composição química do LED.....	132
Figura 44 – Escala Likert.....	135
Figura 45 – Estação micro-ondas	139
Figura 46 – Cálculo da velocidade da luz.....	140
Figura 47 – Cálculo da velocidade da luz 2.....	140
Figura 48 – Cálculo da taxa de erro.....	141
Figura 49 – Cálculo da taxa de erro 2.....	141
Figura 50 – Estação Luz Visível.....	143
Figura 51 – Estação Infravermelho	144
Figura 52 – Estação Ultravioleta	146
Figura 53 – Luz ultravioleta e protetor solar	146
Figura 54 – Estação Conhecendo o elétron	148
Figura 55 – Estação Efeito fotoelétrico – cultura maker – fazendo a placa de LEDS	149
Figura 56 – Experimento Salto Quântico	152
Figura 57 – Cor da emissão de luz dos elementos químicos	152
Figura 58 – Frequência das cores dos elementos químicos.....	153
Figura 59 – Composto químico associado à frequência emitida	153

Figura 60 – Desvendando o segredo dos LEDS	154
Figura 61 – Cores identificadas pelas equipes.....	154
Figura 62 – Aluno mostrando a associação cor e composto químico	155
Figura 63 – Composto químico das cores encontradas	155
Figura 64 – Conflito de feixes	156
Figura 65 – Aplicação dos LEDs e lasers	158
Figura 66 – Protótipo desenvolvido pelos alunos na atividade	159
Figura 67 – Escala Likert.....	168

LISTAS DE QUADROS

Quadro 1 – Estágios do desenvolvimento da criança, de acordo com o método piagetiano.....	31
Quadro 2 – Equações de Maxwell.....	42
Quadro 3 – Função trabalho de alguns elementos.....	56
Quadro 4 – Indicativo de gap direto e indireto com energia de gap e comprimento de onda para vários materiais.....	74
Quadro 5 – Dissertações com temas envolvendo ondas eletromagnéticas no MNPEF	90
Quadro 6 – Dissertações com temas relacionados ao efeito fotoelétrico no MNPEF	95
Quadro 7 – Dissertações com temas relacionados a saltos quânticos no MNPEF	99
Quadro 8 – Dissertações sobre LED no MNPEF	101
Quadro 9 – Dissertações sobre laser no MNPEF	103
Quadro 10 – Número de aulas por tema.....	110
Quadro 11 – Avaliação diagnóstica.....	112
Quadro 12 – Comprimentos de onda da estação micro-ondas	139
Quadro 13 – Taxa de erro (%).....	140

LISTAS DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Respostas para a questão sobre a diferença entre luz visível e outras radiações eletromagnéticas	160
Gráfico 2 – Respostas para a questão sobre efeito fotoelétrico	161
Gráfico 3 – Respostas para a questão sobre efeito fotoelétrico relacionado ao funcionamento do LED	162
Gráfico 4 – Respostas para a questão sobre salto quântico	163
Gráfico 5 – Respostas para a questão sobre funcionamento do LED	164
Gráfico 6 – Respostas para a questão sobre a cor emitida por um LED	165
Gráfico 7 – Respostas para a questão sobre emissão estimulada	166
Gráfico 8 – Respostas para a questão sobre a diferença entre a luz de um laser e a luz de um LED	167
Gráfico 9 – Respostas para a questão sobre ondas eletromagnéticas	168
Gráfico 10 – Respostas para a questão sobre efeito fotoelétrico	169
Gráfico 11 – Respostas para a questão sobre salto quântico	170
Gráfico 12 – Respostas para a questão sobre funcionamento dos LEDs	170
Gráfico 13 – Respostas para a questão sobre funcionamento dos lasers	171
Gráfico 14 – Respostas para a questão sobre comparação entre LEDs e lasers	172
Gráfico 15 – Respostas para a questão sobre aplicações práticas	173
Gráfico 16 – Respostas para a questão sobre eficiência energética	174

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BNCC	Base Nacional Curricular Comum
CTSA	Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
LDR	Light Dependence Resistor
LED	Light Emitting Diode
MASER	Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation
MNPEF	Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física
SBF	Sociedade Brasileira de Física
UEPS	Unidades de Ensino Potencialmente Significativas
ZDP	Zona de Desenvolvimento Proximal

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	22
2	PROGRAMA DAS AULAS NO PRODUTO EDUCACIONAL	25
3	REFERENCIAL TEÓRICO PEDAGÓGICO	30
3.1	Piaget e os níveis de ensino.....	30
3.1.1	<i>Assimilação e acomodação do conhecimento.....</i>	<i>31</i>
3.2	Vygotsky e o interacionismo	32
3.2.1	<i>Vygotsky e o trabalho em equipe</i>	<i>33</i>
3.3	Metodologias ativas de aprendizagem	34
3.3.1	<i>Metodologia de rotação</i>	<i>36</i>
3.3.1.1	<i>Metodologia de rotação por estações</i>	<i>37</i>
3.3.2	<i>Cultura Maker</i>	<i>37</i>
4	DOS MISTÉRIOS DA LUZ AO FUNCIONAMENTO DA LASER	39
4.1	Ondas	40
4.1.1	<i>A luz.....</i>	<i>41</i>
4.1.2	<i>As equações de Maxwell.....</i>	<i>42</i>
4.1.3	<i>Ondas eletromagnéticas.....</i>	<i>42</i>
4.1.4	<i>A velocidade da luz</i>	<i>43</i>
4.1.5	<i>O espectro eletromagnético</i>	<i>45</i>
4.2	O comportamento corpuscular da luz	48
4.2.1	<i>Dualidade onda-partícula.....</i>	<i>48</i>
4.2.2	<i>Natureza ondulatória da luz</i>	<i>49</i>
4.2.3	<i>A natureza corpuscular da luz: o fóton</i>	<i>50</i>
4.2.4	<i>O postulado de Planck</i>	<i>51</i>
4.2.5	<i>O efeito fotoelétrico.....</i>	<i>53</i>
4.2.5.1	<i>Detalhes sobre os resultados do experimento</i>	<i>54</i>
4.3	O salto quântico e a absorção e emissão luz.....	57
4.3.1	<i>O átomo de Leucipo de Demócrito</i>	<i>57</i>
4.3.2	<i>O átomo de Dalton</i>	<i>58</i>
4.3.3	<i>O átomo de Thomson.....</i>	<i>58</i>
4.3.4	<i>O átomo de Rutherford.....</i>	<i>59</i>
4.3.5	<i>O átomo de Bohr.....</i>	<i>60</i>
4.3.6	<i>Emissão de radiação eletromagnética por um átomo de Bohr</i>	<i>62</i>

4.4	Física do estado sólido	64
4.4.1	<i>LED: diodo emissor de luz</i>	65
4.4.1.1	<i>Bandas de energia nos sólidos</i>	65
4.4.1.2	<i>Semicondutores.....</i>	67
4.4.1.2.1	<i>Semicondutores intrínsecos</i>	68
4.4.1.2.2	<i>Semicondutores extrínsecos</i>	69
4.4.1.2.2.1	<i>Semicondutores extrínsecos Tipo N</i>	70
4.4.1.2.2.2	<i>Semicondutores extrínsecos Tipo P.....</i>	71
4.4.1.3	<i>Propriedades optoeletrônicas.....</i>	72
4.4.1.4	<i>A luminescência e a interação radiação-matéria.....</i>	73
4.4.1.5	<i>Dispositivo semicondutores optoeletrônicos</i>	74
4.4.1.6	<i>O funcionamento do LED</i>	75
4.4.2	<i>Laser</i>	78
4.4.2.1	<i>História do laser</i>	79
4.4.2.2	<i>O Maser</i>	80
4.4.2.3	<i>O primeiro laser e a emissão estimulada</i>	81
4.4.2.4	<i>Funcionamento do laser</i>	82
4.4.2.5	<i>Tipos de lasers</i>	84
4.4.2.5.1	<i>Laser de estado sólido.....</i>	85
4.4.2.5.2	<i>Laser de gás</i>	85
4.4.2.5.3	<i>Laser de fibra</i>	86
4.4.2.5.4	<i>Laser de líquido</i>	87
4.4.2.5.5	<i>Laser semicondutor.....</i>	88
5	REVISÃO DE PRODUÇÕES ACADÊMICAS.....	89
5.1	Ondas eletromagnéticas	89
5.1.1	<i>Ondas eletromagnéticas no MNPEF</i>	89
5.1.2	<i>Ondas eletromagnéticas em artigos e revistas</i>	93
5.2	Efeito fotoelétrico.....	94
5.2.1	<i>Efeito fotoelétrico no MNPEF</i>	94
5.2.2	<i>O efeito fotoelétrico no ensino de Física em artigos e revistas</i>	97
5.3	Salto quântico.....	99
5.3.1	<i>Teste da chama</i>	99
5.4	Funcionamento do LED	100
5.4.1	<i>Funcionamento do LED no MNPEF</i>	100

5.4.2	<i>Funcionamento do LED em artigos e revistas</i>	102
5.5	Funcionamento do laser	103
5.5.1	<i>Funcionamento do laser em revistas e artigos</i>	103
6	METODOLOGIA	105
6.1	Pesquisa	105
6.2	Local da pesquisa	106
6.3	Participantes	107
6.4	Local de desenvolvimento das aulas	107
6.5	Metodologia de ensino aplicada nas aulas	108
6.6	O produto educacional	109
6.6.1	<i>Apresentação</i>	109
6.6.2	<i>Apresentação do produto</i>	110
6.6.3	<i>Aula 1: Ondas</i>	112
6.6.3.1	<i>Estação luz micro-ondas</i>	114
6.6.3.1.1	Procedimento experimental	114
6.6.3.1.2	Cálculo da velocidade da luz	115
6.6.3.1.3	Questões sobre a luz micro-ondas	115
6.6.3.2	<i>Estação luz visível</i>	115
6.6.3.2.1	Procedimento	116
6.6.3.2.2	Questões sobre a luz visível.....	116
6.6.3.3	<i>Estação luz infravermelho</i>	116
6.6.3.3.1	Procedimento	117
6.6.3.3.2	Questões sobre a estação infravermelho.....	117
6.6.3.4	<i>Estação luz ultravioleta</i>	118
6.6.3.4.1	Procedimento	118
6.6.3.4.2	Questões sobre a luz ultravioleta	119
6.6.4	<i>Aula 2: Fóton</i>	119
6.6.4.1	<i>Estação 1: conhecendo os elétrons</i>	120
6.6.4.1.1	Materiais disponibilizados para cada equipe	120
6.6.4.1.2	Procedimento	121
6.6.4.1.3	Formulário Estação 1 – Aula 2	121
6.6.4.2	<i>Estação 2: o efeito fotoelétrico</i>	121
6.6.4.2.1	Kit placa solar	122
6.6.4.2.2	Procedimento	122

6.6.4.2.3	Formulário Estação 2.....	124
6.6.4.3	<i>Estação 3: caçadores de fótons</i>	124
6.6.4.3.1	Procedimento	124
6.6.4.3.2	Formulário Estação 3.....	125
6.6.5	<i>Aula 3: Salto quântico</i>	125
6.6.5.1	<i>Espectroscopia viva: o enigma das chamas coloridas</i>	126
6.6.5.1.1	Procedimento para as Estações de 1 a 4	127
6.6.5.1.2	Formulário de registro	128
6.6.6	<i>Aula 4: Física dos materiais e o funcionamento do LED (diodo emissor de luz)</i>	128
6.6.6.1	<i>Atividade explorando cores: descobrindo os segredos dos LEDS</i>	129
6.6.6.1.1	Formulário – LED – Aula 4.....	131
6.6.7	<i>Aula 5: Laser: emissão de luz estimulada por radiação</i>	132
6.6.7.1	<i>Conflito de feixes: descobrindo a colimação</i>	133
6.6.7.2	<i>Procedimento</i>	133
6.6.7.2.1	Formulário	134
6.6.8	<i>Aula 6: Aplicações dos LEDS x laser e avaliação final do produto</i>	134
6.6.8.1	<i>Avaliação Final</i>	135
7	APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	137
7.1	Apresentação do produto	138
7.2	Aula 1: Ondas	138
7.2.1	<i>Estação luz micro-ondas</i>	138
7.2.1.1	<i>Anexe as fotos do seu experimento</i>	139
7.2.1.2	<i>Qual foi o valor da velocidade da luz encontrada? Anexe a imagem do cálculo da velocidade da luz</i>	139
7.2.1.3	<i>Qual foi a porcentagem da taxa de erro do seu experimento? Anexe a foto do cálculo da taxa de erro</i>	140
7.2.1.4	<i>Explique por que o micro-ondas consegue cozinhar, derreter, descongelar alimentos</i>	141
7.2.2	<i>Estação luz visível</i>	142
7.2.2.1	<i>Escreva as cores que vocês conseguiram visualizar no experimento</i>	142
7.2.2.2	<i>O que é a dispersão da luz?</i>	142
7.2.2.3	<i>Foto do experimento demonstrado na Figura 50</i>	143
7.2.3	<i>Estação luz infravermelho</i>	143

7.2.3.1	<i>Por que não conseguimos visualizar o LED do controle remoto acendendo apenas com os olhos?</i>	144
7.2.3.2	<i>Foto do registro do LED infravermelho funcionando demonstrado na Figura 51</i>	144
7.2.3.3	<i>Registre os valores encontrados nas temperaturas da parede interna e externa da biblioteca</i>	145
7.2.3.4	<i>Explique a diferença de temperatura entre a parede interna e externa da biblioteca. Que lado da parede está com temperatura mais alta e por quê?</i>	145
7.2.4	<i>Estação luz ultravioleta</i>	145
7.2.4.1	<i>Registro das fotos dos materiais líquidos iluminados pela lanterna de UV na Figura 52</i>	146
7.2.4.2	<i>Anexo o registro por foto de como as folhas com protetor solar ficaram ao serem iluminadas pela lanterna de UV (ver Figura 53)</i>	146
7.2.4.3	<i>A água tônica mudou de cor? Se sim, pesquise na internet e responda que substância fez a água tônica mudar de cor?</i>	146
7.2.4.4	<i>Em relação à nota de R\$ 2,00, houve alguma alteração quando essa foi exposta a luz ultravioleta? Se sim, para que serve essa mudança de cor nas notas?</i>	147
7.3	<i>Aula 2: Fóton.....</i>	147
7.3.1	<i>Estação 1: conhecendo os elétrons</i>	147
7.3.1.1	<i>Fotos do procedimento na Figura 54</i>	148
7.3.1.2	<i>Qual foi a cor do LED? Essa cor será a cor da equipe a partir de agora.....</i>	148
7.3.1.3	<i>O que aconteceu ao ligar os polos do LED invertido?</i>	148
7.3.2	<i>Estação 2: o efeito fotoelétrico</i>	149
7.3.2.1	<i>Fotos do procedimento na Figura 55</i>	149
7.3.2.2	<i>Foi possível identificar DDP após o procedimento? Se não, o que aconteceu para não ter ocorrido a DDP?</i>	149
7.3.3	<i>Estação 3: caçadores de fótons</i>	150
7.3.3.1	<i>Qual foi a data da verificação?</i>	150
7.3.3.2	<i>Descreva o tempo: com nuvem, sem nuvem?</i>	150
7.3.3.3	<i>Escreva tensão gerada às 9h. Faça três medições e registre a média</i>	150
7.3.3.4	<i>Escreva tensão gerada às 12h. Faça três medições e registre a média</i>	151
7.3.3.5	<i>Análise dos resultados</i>	151
7.4	<i>Aula 3: Salto quântico</i>	151
7.4.1	<i>Espectroscopia viva: o enigma das chamas coloridas</i>	151

7.4.1.1	<i>Classifique a cor com base na referência: amarelo, vermelho, verde ou laranja</i>	152
7.4.1.2	<i>Observe o espectro visível e associe o comprimento à cor</i>	153
7.4.1.3	<i>Associe ao sal o comprimento de onda. A identificação da cor estará associada na tabela de cores que será fornecida em sala de aula.....</i>	153
7.5	Aula 4: Física dos materiais e o funcionamento do LED (diodo emissor de luz).....	153
7.5.1	<i>Explorando cores: descobrindo os segredos dos LEDS</i>	154
7.5.1.1	<i>Fotos do procedimento na Figura 60</i>	154
7.5.1.2	<i>Cor que foi encontrada em cada LED apresentada na Figura 61</i>	154
7.5.1.3	<i>Figura 62 com a tabela a apresentação em slides da constituição de cada LED pelo aluno</i>	155
7.5.1.4	<i>Formulem um texto explicando como foi aprender sobre semicondutores e os LEDS.....</i>	155
7.6	Aula 5: Laser: emissão de luz estimulada por radiação.....	156
7.6.1	<i>Conflito de feixes: descobrindo a colimação</i>	156
7.6.1.1	<i>Fotos do procedimento na Figura 64</i>	156
7.6.1.2	<i>Qual foi o diâmetro da circunferência do feixe de laser para as distâncias de 10 cm, 50 cm, 1m e 1,5 m?</i>	156
7.6.1.3	<i>Qual foi o diâmetro da circunferência do feixe da lanterna para as distâncias de 10 cm, 50 cm, 1 m e 1,5 m?</i>	157
7.6.1.4	<i>Por que acontece essa diferença entre os feixes de luz?</i>	157
7.7	Aplicações dos LEDS x laser e avaliação final do produto	157
7.7.1	<i>Aplicações dos LEDS x laser</i>	158
8	RESULTADOS	160
8.1	Análise comparativa da aprendizagem dos alunos.....	160
8.1.1	<i>Qual a diferença entre luz visível e outras radiações eletromagnéticas?</i>	160
8.1.2	<i>O que é o efeito fotoelétrico?</i>	161
8.1.3	<i>Como o efeito fotoelétrico está relacionado ao funcionamento de um LED? ..</i>	162
8.1.4	<i>Como os saltos quânticos geram luz?</i>	163
8.1.5	<i>Explique o princípio de funcionamento de um LED</i>	164
8.1.6	<i>Como a cor emitida por um LED depende dos materiais semicondutores?</i>	165
8.1.7	<i>O que é emissão estimulada e por que é importante para lasers?</i>	166
8.1.8	<i>Qual a diferença entre a luz de um laser e a luz de um LED?</i>	167

8.1.9	<i>Reflexões sobre os resultados</i>	167
8.2	Análise da percepção dos alunos sobre o produto educacional	168
8.2.1	<i>Ondas eletromagnéticas</i>	168
8.2.2	<i>Efeito fotoelétrico</i>	169
8.2.3	<i>Salto quântico</i>	170
8.2.4	<i>Funcionamento dos LEDS</i>	170
8.2.5	<i>Funcionamento dos lasers</i>	171
8.2.6	<i>Comparação entre LEDS e lasers</i>	171
8.2.7	<i>Aplicações práticas</i>	173
8.2.8	<i>Eficiência energética</i>	174
8.2.9	<i>Reflexões sobre os resultados</i>	174
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	175
	REFERÊNCIAS	177
	APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL	187

1 INTRODUÇÃO

O ensino de Física desempenha um papel importante na formação de estudantes, tendo em vista que ele proporciona uma compreensão dos fenômenos naturais e das tecnologias que estão presentes no mundo moderno. Destacamos o funcionamento do laser como produto principal de nossos estudos, o qual se destaca por suas inúmeras aplicações práticas, pela gama de assuntos de física que podem ser trabalhados nesse assunto e por seu impacto significativo em áreas como medicina, telecomunicações e indústria.

Assim sendo, esta dissertação tem como objetivo geral desenvolver métodos eficazes para explicar de forma dinâmica o ensino do funcionamento do laser, buscando tornar os conceitos complexos da compreensão de seu funcionamento mais acessíveis e interessantes para os alunos. Nossos objetivos específicos permeiam a busca de solucionar o problema da inserção de Física do estado sólido no ensino médio, auxiliando os alunos a compreenderem de forma dinâmica os elementos que formam o funcionamento do laser em 5 etapas:

- I. Entender o conceito de luz por meio de uma abordagem sobre as ondas eletromagnéticas;
- II. Perceber a interação entre luz e elétrons, pautados nos estudos do efeito fotoelétrico;
- III. Analisar a emissão de luz ao estimular a matéria, associando isso ao conceito de salto quântico concomitante aos conhecimentos prévios dos alunos sobre átomo de Bohr;
- IV. Observar a emissão de luz estimulada via dispositivos formados de elementos semicondutores por meio de diodos de emissão de luz (LED);
- V. Compreender a importância da amplificação de luz estimulada por radiação e suas características de colimação, tal como as observadas nos lasers.

A relevância deste estudo reside na necessidade de aprimorar as práticas pedagógicas no ensino de Física, especialmente em temas que envolvem alta tecnologia e inovação. A revisão da literatura sobre o funcionamento do laser revela que, embora existam diversos estudos sobre o ensino de Física, há uma lacuna significativa em termos de abordagens específicas para o ensino do funcionamento de lasers. Dessa forma, destacamos em nossa pesquisa bibliográfica alguns trabalhos que tratam da utilização de lasers no ensino de Física e quais explicam o funcionamento em sua estrutura.

Consideramos que o estudo sobre laser tem sido pouco abordado no currículo de Física, tendo em vista que o atual currículo Física está focado em fenômenos que se enquadram

em áreas tradicionais do ensino de física clássica. Os livros didáticos focam em grandes temas da Física, como mecânica clássica, termologia, óptica, ondas, eletricidade, eletromagnetismo e Física moderna. O funcionamento do laser é um tema particularmente relevante para os estudos de equipamentos opto-eletrônicos, ou seja, aqueles que envolvem interação entre elétrons de um sólido e fótons da luz. Ele é abordado apenas brevemente em alguns livros, no capítulo de Física moderna, mas sem grande profundidade.

Deste modo, buscamos trazer o aprofundamento do funcionamento do laser para ser trabalhado em uma disciplina eletiva denominada “PRÁTICAS LABORATORIAIS DE FÍSICA”, a qual faz parte da parcela do currículo diversificado do atual ensino médio. Este trabalho pretende melhorar a compreensão do aluno sobre o funcionamento do laser, e para tanto, propomos estratégias didáticas baseadas em evidências e práticas de ensino inovadoras, tal como a conexão do construtivismo e interacionismo em atividades experimentais de grupos realizadas por meio da metodologia ativa, rotação por estação e ensino *maker*. Estes conceitos serão discutidos de uma forma mais detalhada ao longo deste trabalho.

Em nossos estudos, nosso referencial pedagógico está baseado na teoria construtivista de Piaget: o aluno construirá seu conhecimento através da interação das atividades experimentais, enfatizando a importância de experiências práticas que permitam a assimilação e acomodação de novos conceitos. Associando isso também ao contexto interacionista, nós focamos nossas atividades também nas teorias interacionistas de Vygotsky, sugerindo que a aprendizagem em física experimental é potencializada quando os estudantes trabalham em colaboração sendo guiados por um mentor ou colega mais experiente, promovendo o desenvolvimento da Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP). Assim percebemos que ambas as abordagens incentivam a exploração ativa e colaborativa como pilares para a compreensão profunda dos fenômenos físicos.

A justificativa de nosso trabalho tem por base a base nacional curricular comum (BNCC), a qual aborda habilidades sugeridas para a área das ciências da natureza. A habilidade (EM13CNT308) busca investigar e analisar o funcionamento de equipamentos elétricos, buscando compreender as tecnologias contemporâneas percebendo os impactos sociais, culturais e ambientais. Outra habilidade que justifica nossos estudos é a (EM13CNT309), a qual analisa questões socioambientais, políticas e econômicas e as necessidades de introdução de alternativas e novas tecnologias energéticas e de materiais, comparando diferentes tipos de motores e processos de produção de novos materiais, ou seja, a compreensão do funcionamento do laser pode incitar os alunos a buscarem mais informações sobre os diversos materiais e suas

propriedades de emissão de luz, ou mesmo possivelmente estudarem sobre esses temas futuramente.

Percebemos que, atualmente, as variadas tecnologias associadas aos materiais que formam equipamentos emissores de lasers são pouco abordadas em nível médio, nas mais diversas escolas. Sendo assim, a motivação em trabalhar esse assunto tem seu ápice no fato de esse ser um instrumento de ampla utilização nas tecnologias atuais. Mais ainda, a compreensão do funcionamento do laser, por ser um assunto interdisciplinar, tem como base para o seu entendimento diversos conhecimentos físicos, tais como o conceito de luz, a percepção da carga elétrica, a compreensão do comportamento do elétron em um átomo excitado, o entendimento da emissão de luz estimulada em átomos de elementos semicondutores como nos LEDs e a assimilação da amplificação de emissão de luz estimulada por radiação, que é a base para a explicação do funcionamento dos lasers.

2 PROGRAMA DAS AULAS NO PRODUTO EDUCACIONAL

Os assuntos que constituem a base para a construção desse material estão embasados nos conteúdos básicos de ondulatória, os quais são a base de nossa aula 1 sobre o conceito de luz eletromagnética. Na aula 2, abordamos o comportamento do elétron, enfatizamos a mecânica quântica para abordar a existência da partícula conhecida como *fóton* e o efeito fotoelétrico. Também utilizamos a mecânica quântica para tratar sobre o comportamento do elétron na aula 3, que aborda sobre saltos quânticos. Utilizamos o estudo sobre física do estado sólido para abordar o tema das aulas 4 e 5, que dão suporte para a explicação dos LEDs e dos lasers, respectivamente.

Trabalhamos com diversos autores como base para a construção do referencial teórico do contexto físico deste trabalho, tendo em vista a diversidade de assuntos que abordamos em nosso produto educacional. Para o estudo de ondulatórias destacadas na aula 1, focamos em autores como Halliday (2002), Caruso e Oguri (2016), Tipler e Mosca (2009), Serway e Beichner (1999). Para o estudo de mecânica quântica destacado nas aulas 2 e 3, trabalhamos com os autores Serway e Beichner (1999), Caruso e Oguri (2016) e Feynman *et al.* (2006) para explicar a dualidade onda-partícula. Explicamos sobre os fótons, o efeito fotoelétrico, o salto quântico, e a absorção e emissão de luz nos referenciando em Feynman *et al.* (2006), Tipler e Llewellyn (2017) e Eisberg e Resnick (1994). Para o estudo da Física dos estados sólidos que baseia as aulas 4 e 5, especificamente para os LEDs na aula 4, destacamos Kittel (2008), Callister e Rethwisch (2018) e Rezende (2015). Em relação aos lasers, na aula 5 trabalhamos com Bretenaker e Treps (2014), Renk (2017), Matzner (1983) e Rezende (2015).

Assim sendo, constituímos nosso produto educacional com 7 aulas, sendo a apresentação do produto educacional com 50 minutos, a aula 1 com três aulas de 50 minutos e as demais com duas aulas de 50 minutos, totalizando 1h e 40 minutos de aulas. Inicialmente, na primeira aula de apresentação do produto educacional, apresentamos o termo de aceitação em participar das atividades e uma breve avaliação diagnóstica para identificar o que os alunos entendem sobre o tema. As outras 5 aulas buscam auxiliar os alunos a compreenderem a luz laser e seu funcionamento, e a nossa última aula, que intitulamos de Aula 6, é uma atividade dinâmica e a avaliação final do produto educacional.

O produto educacional está organizado inicialmente em uma exposição dialogada e posteriormente destinada a uma atividade interacionista em que os alunos executam um experimento relacionado com o tema da aula naquele determinado dia. A aula também tem em sua complementariedade uma busca de informações realizadas em grupo, em que um

componente de cada grupo aponta a câmera do celular, conectado à internet, para um QR code e responde às questões solicitadas referentes ao experimento.

Para compreender o funcionamento do laser, é necessário compreender que tipo de luz é emitida por esses dispositivos. Assim, resolvemos abordar o conceito de ondas dando destaque para as ondas eletromagnéticas, que são as luzes em suas múltiplas frequências, desde ondas de rádio até a luz de raios gama.

Destacamos que todas as ondas eletromagnéticas são, de certa forma, “luzes”: ao explanarmos o conceito de luz visível e seus diversos comportamentos na ótica e depois incluímos em nosso programa de ensino o estudo sobre as ondas, destacamos que a luz visível está incluída em uma faixa de frequências das ondas eletromagnéticas, e isso pode dar a entender que somente a luz visível é uma onda eletromagnética que emite radiação. Contudo, queremos destacar para os estudantes que todas as ondas eletromagnéticas possuem a mesma característica e as mesmas propriedades da luz visível, porém, não conseguimos perceber essas luzes, ou “enxergá-las”, pois nossos olhos não detectam as frequências emitidas por essas outras ondas nessa faixa do espectro eletromagnético.

Para abordar diferentes propriedades e características das luzes, nosso material trabalha com uma atividade interativa em que os alunos realizam 4 experimentos em uma atividade realizada em rotação por estação. Nessa atividade, realizada na aula 1 e denominada: “circuito das luzes em nosso cotidiano”. Nessa os alunos percebem, através de atividades interativas, as luzes mais presentes em nossas vidas, tais como a luz visível na estação 1, luz infravermelho na estação 2, luz ultravioleta na estação 3 e luz micro-ondas na estação 4.

Compreendendo que as luzes são ondas eletromagnéticas, avançamos para a aula 2, apresentando no primeiro momento o conceito de interação entre luz e matéria, no qual destacamos historicamente os estudos do comportamento da luz em sua característica de onda e matéria. Nesse, evidenciamos filósofos como Huygens, Issac Newton, De Broglie, Thomas Young, Clinton Davisson e Lester Germer. Esses dois últimos apresentaram o experimento demonstrando o comportamento dual da luz.

Para apresentar a partícula de luz, denominada “fóton”, destacamos os trabalhos de Hertz, Max Planck e Einstein, em que a história destaca suas contribuições para os estudos do comportamento da radiação de luz na interação com a matéria na remoção de elétrons. Dessa forma, buscamos realizar uma atividade interativa em que se identifica a presença das partículas de fótons, por meio do efeito fotovoltaico inverso, em que se observa a diferença de potencial por meio de um circuito elétrico criado com LEDs, fios de ligação e um capacitor de $10\mu\text{F}$.

Nessa aula 2, temos então três experimentos, separados em três estações, em uma atividade denominada “caçadores de fótons”: na estação 1, percebemos os elétrons que são conduzidos por uma corrente elétrica em um circuito simples que acende um LED. Na estação 2 temos a criação em grupo de uma placa de LEDs que auxiliará os alunos a identificarem a criação de uma corrente elétrica observada através de um multímetro, quando exposto o circuito à luz solar, ou seja, aos fótons solares. Por último, na estação 3, desenvolvemos uma atividade a ser desenvolvida durante a semana em que o grupo de alunos faz uma coleta de dados, no dia posterior à construção da placa de LED, a fim de perceber a diferença de potencial observadas em horários fixos do dia, a saber, 9:00h, 12:00h e 15:00h. O propósito de registrar a corrente emitida nesses determinados horários era identificar a emissão solar nos variados horários e perceber o efeito fotovoltaico de uma produção de energia solar. Compreendendo a relação entre fóton e elétrons, avançamos para a aula 3, para darmos continuidade ao estudo discutindo a interação entre luz e matéria.

Na aula 3, então, explicamos historicamente os estudos sobre a composição da matéria, a qual teve seu início em Demócrito há 400 (a.c.), passando por Leucipo e posteriormente explicada por Platão e Aristóteles aproximadamente 1650 (d.C.). Abordamos sobre os modelos atômicos de Dalton, Thomson, Rutherford para enfim abordar o modelo que auxilia a compreensão da emissão estimulada de luz: o átomo de Bohr.

Apresentamos o átomo de Bohr e seus postulados. Enfatizamos que, por exemplo, trocas de energia através de calor excita os elétrons dos átomos, fazendo com que eles subam para níveis de energia mais altos. Ao retornarem ao seu estado fundamental ou nível inicial, esses elétrons liberam energia na forma de luz, que sai através de pacotes (ou “quantum”) de energia $E = h\nu$, em que ν é a frequência da onda da luz, a qual está relacionada à cor dessa luz, que é específica para os átomos de cada elemento. Assim, explicamos sobre a emissão e absorção espontânea de luz e a emissão estimulada de luz.

Esse estímulo de luz é uma parte fundamental para compreender o funcionamento de LEDs e laser, assim, para que os alunos possam interagir e perceberem que é possível observar a emissão de luz em um experimento simples com alguns compostos químicos presentes no laboratório de ciências, resolvemos realizar o experimento que denominamos Espectroscopia Viva: O Enigma das Chamas Coloridas. O fenômeno estudado neste experimento é diretamente ligado, por exemplo, à forma como a luz é emitida em um LED, além de ajudar a entender o processo inicial da emissão estimulada em lasers. Assim, cada grupo é convidado a participar de um experimento, na atividade de rotação por estação em que cada grupo realizará o teste da chama de quatro elementos, sendo um em cada estação. O grupo

recebe uma tabela para tentar identificar, pela cor, qual é a substância química que estava sendo utilizada. O objetivo é fazer com que os alunos percebam que, ao dar energia para um composto químico, este é capaz de emitir luz em uma frequência de acordo com o elemento químico trabalhado.

Compreendendo o processo de emissão associado às transições de energia entre níveis energéticos quantizados de elétrons (neste caso, nos átomos de um sólido), trabalhamos na aula 4 com o conceito de LED, ou seja, buscamos compreender a composição de diodos emissores de luz, a teoria das bandas de condução e de valência e a energia de *gap*, compreender o que são semicondutores dopados e como acontece a emissão de luz em um LED. Abordamos uma breve história sobre a eletrônica e a transição entre as válvulas que eram os responsáveis pelos equipamentos emissores de voz e som e os dispositivos de estado sólido atuais, sobre os laboratórios da Bell Telephone, J. Bardee, W. Brattain e W. Shockley, que estudaram as propriedades eletrônicas em semicondutores e descobriram os transistores, posteriormente os diodos e o dispositivos optoeletrônicos.

Ressaltamos que a energia de *gap* está associada à compreensão dos mecanismos responsáveis pela passagem da corrente elétrica em um material. Expomos o conceito das bandas que são classificadas como bandas de valência ou bandas de condução. O conceito de bandas é essencial para a compreensão da condutividade elétrica dos materiais. Apresentamos a energia de *gap* entre os materiais isolantes, condutores e semicondutores. Classificamos os semicondutores em intrínsecos e extrínsecos e a classificação desses últimos em tipo p e tipo n, bem como a apresentação dos semicondutores compostos pelos grupos II, III, IV e V. Apresentamos os dispositivos semicondutores, bem como a emissão de luz com base no poço de potencial infinito. Por fim, discutimos sobre o diodo emissor de luz (LED) e o processo que permite a emissão de luz e a cores dos LEDs.

Após a exposição dialogada, seguimos com a atividade experimental, em que realizamos a atividade Explorando Cores: Descobrindo os Segredos dos LEDs. Nesse, cada grupo buscou identificar de que são feitos os 4 LEDs que são entregues para cada grupo. Os alunos montam um circuito eletrônico e, com base na cor e em posse da tabela, buscam descobrir de que é formado cada LED. Em seguida, os alunos preenchem o formulário exposto pelo QR code.

Por fim, na aula 5, destacamos o funcionamento do laser. Associamos todos os conteúdos estudados à compreensão do funcionamento do laser. Explicamos como a luz laser é formada e emitida, apresentamos o conceito de coerência e explicamos a estrutura do laser e

seus componentes. Apresentamos o contexto histórico do laser que advém da criação do maser, os componentes do laser e o processo para o seu funcionamento e os diversos tipos de laser.

Após apresentação dialogada, realizamos uma atividade de interação em que os alunos buscam compreender a característica de colimação da luz laser. Nessa, os alunos recebem uma lanterna de um LED e um ponteiro laser para fazer a comparação dos raios emitidos por ambos a fim de compreender a característica de colimação do laser em comparação a um LED. Para a realização da atividade, os alunos receberam óculos de proteção da radiação e executaram a atividade em um ambiente escuro com trenas, régua para medir o diâmetro da luz projetada do LED e do laser.

Para finalizar nosso produto educacional, desenvolvemos nos primeiros 50 minutos da aula 6 uma relação entre a aplicabilidade dos lasers e dos LEDs. Após explicar como funciona esses dispositivos, sugerimos que em uma aula que cada grupo pudesse fazer uma pesquisa sobre as aplicações dos lasers, fazer um mapa conceitual e criar um protótipo, com LED ou com laser em um equipamento eletrônico constituído, que pudesse ser aplicado como uma tecnologia. Após a interação e a sugestão do protótipo os alunos apresentam a toda a turma, trazendo sua compreensão sobre nossos estudos.

Enfim, nos últimos 50 minutos da aula 6, solicitamos que os alunos respondessem novamente o questionário diagnóstico e um teste baseado em uma escala Linket, em que emitem opiniões entre discordo totalmente, discordo, neutro, concordo e concordo totalmente. Nessa escala os alunos expressaram, sobre cada aula, o seu grau de entendimento em que definimos frases afirmativas para cada.

Posto isso, nossa dissertação está organizada em 6 capítulos, sendo o capítulo 2 associado ao referencial teórico pedagógico em que relacionamos o produto educacional às metodologias ativas e às bases teóricas pedagógicas que foram a base para nossa elaboração do produto didático; o capítulo 3 está dividido em 4 grandes subtemas que explicam o contexto físico que utilizamos no produto educacional; o capítulo 4 é uma revisão literária sobre o tema em questão, baseada principalmente nas dissertações já desenvolvidas no MNPEF; o capítulo 5 descreve a metodologia de nosso produto educacional e a aplicação desse na escola EEMTI José Valdo Ribeiro Ramos; no capítulo 6 realizamos a análise de dados das atividades aplicadas na sequência didática; e no capítulo 7 discutimos os resultados com um comparativo das avaliações diagnóstica e final. Concluímos emitindo nossas opiniões sobre a aplicação de nosso produto educacional.

3 REFERENCIAL TEÓRICO PEDAGÓGICO

O presente capítulo desta dissertação apresenta as bases teóricas pedagógicas que utilizamos para a criação de nosso produto educacional. Considerando que a aprendizagem está associada a diversos fatores, tomamos como suporte para a elaboração da ideia principal de nosso aprendizado sobre o funcionamento do laser as teorias do desenvolvimento de Piaget, no que se refere à assimilação e acomodação do conhecimento. Associamos a construção do conhecimento de Piaget à teoria de aprendizagem de Vygotsky, o qual destaca atividades colaborativas e significativas no desenvolvimento e na produtividade por meio do engajamento entre alunos e professores.

Para o desenvolvimento das atividades, focamos nas metodologias ativas: nossas atividades são baseadas na metodologia de rotação, especificamente na de “rotação por estação”, a qual se baseia na interação aluno-aluno e aluno-professor. Para realizar as atividades, os alunos são divididos em grupos que circulam entre as diferentes estações de aprendizagem. Conectada a essa metodologia, associamos estações em que os alunos realizam os experimentos montando suportes que auxiliam na compreensão do conteúdo, assim sendo, utilizamos também a cultura *maker*, a qual descrevemos mais adiante.

A seguir, explicamos um pouco as teorias de Piaget e Vygotsky, as metodologias ativas centradas no método de rotação por estações, bem como a cultura *maker*.

3.1 Piaget e os níveis de ensino

Jean Piaget (1896-1980) teve sua vida acadêmica marcada pela sua dedicação ao estudo da natureza biológica e social da inteligência humana, no qual ele destaca que as crianças para se desenvolverem teriam influência do meio em que estão inseridas (Ferracioli, 1999), ou seja, a teoria educacional de Piaget destaca que o conhecimento está associado à influência de fatores externos.

Piaget considerava que para acontecer a aprendizagem, seria necessário que o sujeito mudasse as características da observação do conteúdo, e não apenas fizesse uma simples eliminação dos erros. Assim, para ele, o conhecimento não está centrado no sujeito, mas sim na interação que este pode promover com o meio.

O método pedagógico piagetiano está associado à diferenciação dos conceitos, considerando que a aprendizagem acontece em 4 estágios, classificados de acordo com a idade,

como mostrado no Quadro 1. A descrição dos conceitos e capacidades dos alunos em cada estágio pode ser verificada em detalhes, por exemplo, em Ferracioli (1999).

Quadro 1 – Estágios do desenvolvimento da criança, de acordo com o método piagetiano

Estágio	Faixa etária
Sensório-motor	até 2 anos
Pré-Operatório	2 à 7 anos
Operatório Concreto	7 à 12 anos
Operatório Formal	a partir de 12 anos

Fonte: Adaptado de Ferracioli (1999).

Considerando que nosso produto está planejado para ser aplicado com alunos do ensino médio e que a faixa etária desses é acima de 12 anos, focamos na construção do conhecimento no estágio operatório formal, em que os alunos já são capazes de raciocinar situações que se baseiam em situações reais ou realidades observáveis. Ferracioli (1999) destaca que nessa fase os adolescentes são capazes de levantar hipóteses, fazerem reflexões e construir teorias, desenvolvendo assim o pensamento hipotético dedutivo.

Piaget ainda descreve esse estágio levando em consideração fatores importantes como a maturação, o papel da experiência adquirida na relação com o meio físico, a transmissão social e a equilíbrio. Destacamos a equilíbrio como fator relevante para a nossa pesquisa, pois essa está relacionada a experiência física e a equilíbrio dos conhecimentos adquiridos através da assimilação e acomodação da informação. Nessa etapa, os alunos possuem maturidade para abstrair as propriedades partindo do objeto, considerando que as experiências físicas não são apenas registros de dados, mas sim uma estrutura ativa de assimilação de esquemas matemáticos internos (Ferracioli, 1999).

3.1.1 Assimilação e acomodação do conhecimento

A assimilação refere-se a processos e mudanças da estrutura relacionada às diferenciações e integrações dos esquemas de aprendizagem, que está associada a acomodação de novos elementos que se apresentam. Logo, a assimilação está relacionada ao equilíbrio entre a assimilação das experiências dedutivas e a acomodação das estruturas dos dados da experiência.

Melo (2011, p. 24) em seus estudos sobre Piaget destaca que:

[...] o indivíduo possui uma estrutura mental organizada, constituída por relações interdependentes, que buscam conservar esta estrutura e infligir ao meio um equilíbrio

que depende de sua organização própria. O ser humano assimila o universo a sua volta, ao mesmo tempo em que acomoda partes deste mesmo universo.

Portanto, os processos de assimilação e acomodação do conhecimento podem ser entendidos como um mecanismo cognitivo ou um procedimento psicológico que permite que o indivíduo interaja com informações de suas diversas experiências com suas estruturas cognitivas pré-existentes, muitas vezes chamadas de esquemas, de forma a facilitar a adaptação do organismo ao ambiente ao seu redor (Melo, 2011).

Os humanos estão envolvidos no processo de assimilação e acomodação de forma contínua, processando meteticulosamente uma infinidade de entradas sensoriais simultâneas e categorizando essas entradas em estruturas cognitivas já estabelecidas, formadas por experiências passadas. Consequentemente, é importante notar que, embora o ato de assimilação possa não resultar diretamente em uma transformação desses esquemas cognitivos, ele desempenha um papel significativo na formação e influência de sua evolução, contribuindo positivamente para a trajetória geral do desenvolvimento cognitivo (Melo, 2011).

Nesse sentido, os atos de assimilação e acomodação podem ser vistos como aspectos fundamentais dos processos cognitivos humanos, pois apoiam a interação contínua entre os indivíduos e seus ambientes, promovendo uma relação dinâmica e adaptativa que é essencial para o aprendizado e o crescimento (Melo, 2011).

3.2 Vygotsky e o interacionismo

A proposta do psicólogo russo Lev Vygotsky (1896-1934) na área da educação está associada ao aprendizado pela interação social, ou seja, o desenvolvimento do indivíduo como resultado das relações e interações sociais. Nessa teoria, se enfatiza a importância da criação do conhecimento através da interação entre indivíduos e ambientes. Vygotsky destaca que a aprendizagem acontece através da mediação entre o indivíduo e o ambiente no processo de aprendizado (Silva; Oliveira, 2020).

Assim, Vygotsky propõe que a aprendizagem não ocorre de maneira direta, mas sim através de instrumentos e signos que são elementos mediadores e que facilitam a internalização do conhecimento. A interação social é um processo que torna o papel do professor essencial na mediação planejada e intencional para que aconteça o aprendizado. Logo

o professor é necessário para guiar os alunos na compreensão e aquisição de saberes (“Vygotsky e o conceito de aprendizagem mediada | Nova Escola”, 2024).

Vygotsky (1989) *apud* Silva e Oliveira (2020) abordava o aprendizado associado a instrumentos/objetos que seriam os “signos” que auxiliam o sujeito a interagir com o meio externo, ou seja, os signos seriam representações mentais que são criadas para internalizar o conhecimento. Eles atuam como ferramentas psicológicas que ajudam o indivíduo a organizar e transformar a realidade externa em conhecimento interno. Ainda na perspectiva de Vygotsky, esses signos podem incluir linguagem, símbolos, imagens ou qualquer outra forma de representação que permita o sujeito mediar suas interações com o ambiente (Silva; Oliveira, 2020).

Interpretando os estudos de Rego (1995) sobre Vygotsky, observamos que, para o desenvolvimento da aprendizagem, é necessária a comunicação, porque a linguagem é a base do elo entre a comunicação e a aquisição de conhecimento. O autor destaca ainda que é por meio da linguagem que ocorre a mediação entre o homem e o meio ambiente (Rocha *et al.*, 2013).

Através desse processo de mediação, o aprendizado se torna uma atividade social e cultural, onde o indivíduo não apenas absorve informações passivamente, mas também as transforma, reinterpretando-as com base em suas próprias experiências e contextos culturais. Em termos do ensino de Física, a interação em atividades experimentais é constituída de signos que auxiliam os alunos na compreensão do fenômeno (Rocha *et al.*, 2013).

3.2.1 Vygotsky e o trabalho em equipe

O trabalho em equipe é defendido por Vygotsky sob a perspectiva de colaboração na escola. Vygotsky (1989) *apud* Rocha *et al.* (2013) destaca que as atividades realizadas em grupo, de forma conjunta, oferecem mais vantagens que as formas de aprendizagem individualizada. O autor esclarece que aprendizagem e seus processos de pensamento ocorrem mediados pela relação com outros sujeitos e com isso produzem modelos de referências que servem de base para o comportamento e entendimento, assim como para o significado que é dado para as coisas e pessoas (Rocha *et al.*, 2013).

Sendo assim, a interação em grupo permite que os alunos exerçam atividades imitativas, o que geralmente é associado a processos puramente mecânicos, mas que também envolvem uma repetição, o que oferece a oportunidade de reconstrução do que o indivíduo observa externamente (Rocha *et al.*, 2013). Assim consideramos o aprendizado colaborativo

como uma estratégia pedagógica em que os alunos são incentivados a trabalharem juntos em projetos e atividades, a fim de que possam compartilhar conhecimentos e experiências.

Souza e Silva (2018, p. 5) destaca que: “Para Vygotsky (2009), a atividade produtiva, agora ao alcance do adolescente pelas transformações corporais e psíquicas, está associada à redefinição da imaginação criadora, que passa a se objetivar na ação transformadora desses sujeitos no mundo”. Ou seja, durante o desenvolvimento da aprendizagem, “[...] a criança, primeiramente age para depois pensar, enquanto a partir da adolescência, o sujeito primeiro pensa e depois realiza uma determinada ação” (Souza; Silva, 2018, p. 5).

O projeto desenvolvido nesta dissertação buscou trabalhar com o contexto da maturação dos adolescentes, no que tange o desenvolvimento do conhecimento na busca da compreensão do funcionamento do laser. Sendo assim, trabalhamos os diversos conceitos de forma dialogada com atividades em equipe e rotacionada, por meio de metodologia ativa de rotação por estação e cultura *maker*, que permitiram auxiliar a compreensão dos conceitos propostos.

3.3 Metodologias ativas de aprendizagem

A aprendizagem acontece desde o nascimento: ao longo da vida, interagimos com o meio para aprender, como destacamos aqui anteriormente ao abordar Piaget e Vygotsky. Nos relacionamos com pessoas, objetos e a natureza a fim de criar signos que auxiliam na criação de uma estrutura como forma de compreender o mundo que nos cerca. O conceito de metodologia ativa está relacionado ao protagonismo dos alunos, em que seu envolvimento direto e participativo reflete em uma aprendizagem ativa, na qual o professor ordena os experimentos e a participação dos alunos. Assim sendo, as metodologias ativas são estratégias centradas na construção da aprendizagem, as quais auxiliam os alunos a se conectarem com o conteúdo de forma ativa, unindo o mundo digital e experimental de forma presencial ou híbrida (Bacich; Moran, 2018).

O ensino híbrido está associado às metodologias ativas, pois podem auxiliar na mediação entre o mundo real e o mundo virtual, podendo ser elas “[...] físico-digital, móvel, ubíquo, de realidade física e aumentada” (Bacich; Moran, 2018, p. 4). Com a possibilidade de conectar o ensino presencial com o virtual, o ensino híbrido tem ganhado destaque na educação. Podemos então fazer a junção das metodologias ativas com o ensino flexivo e híbrido, a fim de trazer contribuições para as práticas metodológicas de aprendizagem ativa. Existem quatro

modelos principais de ensino híbrido: Rotação, Flex, à la Carte e Virtual Enriquecido, com variações e combinações possíveis (Horn; Staker; Christensen, 2015).

Fino (2017) discute sobre a pedagogia em questão, exemplificando essa abordagem, baseando-se nas ideias de John Dewey e Seymour Papert. Dewey e Papert, já no início do século XX, defendiam a importância de atividades que promovessem a exploração e manipulação de materiais, como forma de engajar o aluno integralmente e reduzir a distância entre a vida na escola e fora dela. Outro ponto também destacável por Dewey e Papert era a necessidade de oportunizar os alunos a cometerem erros, pois essa atitude é uma etapa importante no processo de aprendizagem (Fino, 2017).

Papert, em Fino (2017), por sua vez, propõe uma aprendizagem com o mínimo de ensino direto, a qual empodera o aluno a construir seu próprio conhecimento, ao invés de simplesmente fornecer-lhe respostas prontas. Assim, as metodologias ativas já estavam presentes, porém ainda não tinham sido nomeadas com esse título. A defesa das metodologias ativas envolve a participação ativa do aluno, o aprendizado colaborativo, a exploração, a construção e a valorização do processo, incluindo os erros como fundamentais para a aprendizagem significativa (Fino, 2017). Essas podem acontecer de forma individual, grupal e tutorial.

Na atividade individual, o aluno escolhe o seu caminho, guiado pelo professor, para buscar o conhecimento. Na atividade grupal, os alunos ampliam seus conhecimentos através de diferentes formas como o envolvimento, a interação e compartilhamento de saberes, as atividades e produções com seus pares. Já no tutorial, os alunos aprendem com a orientação de pessoas mais experientes em diferentes campos e atividades (mediação, mentorias ou curadoria). Em todos os movimentos ativos de educação, o importante é que os alunos se aprofundem mais na aprendizagem (Bacich; Moran, 2018).

As metodologias ativas de aprendizagem aparecem como uma abordagem pedagógica que contrasta com os métodos tradicionais de ensino, onde o professor era figura de autoridade e o aluno, receptor passivo de informações (Lovato *et al.*, 2018). Assim, as metodologias ativas vêm ganhando crescente destaque, uma vez que se trata de abordagens interativas. Elas colocam o estudante no centro do processo de aprendizagem, estimulando a sua participação ativa e construção do conhecimento. Desta forma, destacam o aluno como protagonista, incentivando seu envolvimento cognitivo e emocional no processo de construção do conhecimento (Bacich; Moran, 2018). Essas ideias se materializam em práticas como a Aprendizagem Baseada em Projetos (ABP), a Aprendizagem Baseada em Problemas (PBL), a Sala de Aula Invertida (*Flipped Classroom*), a Gamificação, o Ensino Híbrido (*Blended*

Learning), a Aprendizagem por Pares (*Peer Instruction*) e a Rotação por Estações. Essas metodologias promovem a autonomia do aluno e o desenvolvimento de competências para além do conteúdo teórico. Nosso produto educacional foi organizado com base nas metodologias ativas de rotação por estação e Aprendizagem Baseada em Projetos.

3.3.1 Metodologia de rotação

A metodologia de rotação é um modelo pedagógico que oferece diversas atividades com diferentes recursos, metodologias e objetivos em diversas estações de trabalho. Neste contexto, os alunos realizam atividades em grupos de forma colaborativa, podendo seguir um caminho entre as estações ou realizar atividades em estações fixas para todos os grupos. Durante a aplicação das atividades, o professor orienta os grupos de acordo com suas necessidades específicas da atividade e da necessidade dos grupos (Bacich; Moran, 2018).

Logo, o ensino por rotação caracteriza-se pela alternância entre diferentes modalidades de aprendizagem, incluindo pelo menos uma modalidade *online*, buscando assim diversificar as experiências de aprendizado e atender às diferentes necessidades e estilos de aprendizagem dos alunos. Existem diversos modelos de rotação, cada um com suas particularidades, que permitem maior ou menor controle do aluno sobre o ritmo e o caminho de aprendizagem. Os modelos de rotação incluem a rotação por estações, sala de aula invertida, laboratório rotacional e rotação individual (Bacich; Moran, 2018).

O laboratório rotacional é semelhante à rotação por estações, sendo que a parte online do curso ocorre em um laboratório de informática. A intenção é liberar tempo e espaço na sala de aula, utilizando uma infraestrutura e pessoal distintos para o componente *online*. Na metodologia de aula invertida, o conteúdo é aprendido *online* fora da sala de aula, substituindo a tradicional lição de casa.

Assim, o tempo de aulas presenciais é destinado para atividades práticas e projetos orientados pelo professor. Com isso, o diferencial dessa metodologia é que a relação do aluno com atividades e conteúdos acontece principalmente *online*. Por fim, a rotação individual é uma metodologia em que cada estudante possui um cronograma individual e não necessariamente alterna para todas as estações ou modalidades disponíveis. Os alunos resolvem e aprendem o conteúdo em estações, permitindo um controle individual do ritmo e caminho na parte online e presencial, em horários específicos (Horn; Staker; Christensen, 2015). O modelo de Rotação

por Estações, que foi o utilizado neste trabalho, está descrito de forma mais detalhada na Seção a seguir.

3.3.1.1 Metodologia de rotação por estações

A rotação por estações caracteriza-se pela realização de atividades alternadas, cronometradas e mediadas pelo professor, a fim de levar os estudantes a se deslocarem entre diferentes "estações" de aprendizagem, podendo ser atividades *online*, atividades em pequenos grupos com o professor, e trabalho individual. A frequência com que os alunos mudam de estação é determinada pelo professor ou por um cronograma predefinido, e não necessariamente é controlada individualmente pelo aluno (Horn; Staker; Christensen, 2015). Este modelo difere da Rotação Individual, pois todos os estudantes seguem o mesmo cronograma de rotação pelas estações, ao invés de seguirem cronogramas personalizados como no caso do modelo de Rotação Individual.

Silva e Felicio (2020) apresentaram essa metodologia em uma prática educativa para jovens e adultos através de uma sequência didática que norteia as atividades dispostas em estações que seriam realizadas pelos estudantes em grupo ou de forma individual. Os autores chamaram a metodologia de rotação por estação (RporE) e destacaram a adaptação à possibilidade de trabalhar essa metodologia de forma híbrida ou presencial.

3.3.2 Cultura Maker

A cultura *maker* é um movimento que conquistou a população nos últimos anos, centrado na atmosfera do movimento DIY (faça você mesmo). Ele surgiu por volta dos anos 2000, quando foi publicada a primeira revista especializada em cultura *maker*, chamada *Make Magazine*, impulsionado pela introdução de novas tecnologias, como o microcontrolador Arduino e a impressora 3D. Clapp *et al.* (2016) *apud* Duque *et al.* (2023) destacam que a cultura *maker* está claramente conectada com abordagens educacionais como aprendizagem em pares e aprendizagem baseada em projetos, promovendo uma aprendizagem ativa e colaborativa, através do estímulo à criatividade e à inovação (Duque *et al.*, 2023).

A Cultura *maker* está associada à Competência Geral 2 da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) à qual descreve como

[...] exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade,

para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e inventar soluções com base nos conhecimentos das diferentes áreas (Brasil, 2018).

O destaque para essa competência é o pensamento científico, crítico e criativo, o qual incentiva os estudantes a serem protagonistas de seu processo de aprendizado. Assim, a ideia do “aprender fazendo” busca promover a investigação e a resolução de problemas de forma criativa e colaborativa. Dessa forma, o movimento *maker* envolve os estudantes em experiências práticas, onde eles são encorajados a trabalhar para construir soluções para os problemas, a fim de explorar suas ideias e construir e reconstruir aprendendo com os seus próprios erros, desenvolvendo habilidades como criatividade, trabalho em equipe e resolução de problemas (Duque *et al.*, 2023).

Nesse contexto, incorporar a cultura *maker* é uma excelente estratégia para engajar os estudantes para promover a curiosidade e a experimentação, visto que quando os alunos são incentivados a explorar o aprendizado, por meio de projetos práticos ou usando ferramentas e tecnologias que os ajudam a materializar suas ideias, estes se tornam protagonistas de sua aprendizagem. Com isso, são capazes de testar suas hipóteses e aprimorar suas habilidades de maneira iterativa, desenvolvendo seu pensamento crítico e científico (Duque *et al.*, 2023).

4 DOS MISTÉRIOS DA LUZ AO FUNCIONAMENTO DA LASER

O laser é um dispositivo óptico usado para diversas finalidades. No contexto educacional do ensino de Física, usamos lasers em pequenas demonstrações experimentais, contudo a explanação sobre o seu funcionamento é pouco abordada entre os conteúdos da disciplina.

Na verdade, para se compreender o funcionamento do laser, é necessário acima de tudo compreender o que é luz, bem como a relação entre a matéria e a emissão da luz. Diante desse contexto, abordamos a compreensão do funcionamento do laser a partir de 4 conteúdos básicos da física, sendo eles: a natureza ondulatória da luz, a natureza corpuscular da luz, a emissão estimulada da luz e a relação entre luz e matéria.

Nesse contexto, a sequência dos tópicos desse referencial busca construir uma base conceitual sólida, revelando um real caminho para o entendimento detalhado do funcionamento do laser. No primeiro tópico, abordamos os tipos de ondas existentes na natureza com foco na luz como uma onda eletromagnética. Abordamos também um pouco do contexto histórico da luz, suas aplicações e o entendimento que a humanidade construiu sobre sua origem e propriedades. Explicamos as propriedades de propagação e os tipos de luzes presentes no espectro eletromagnético e a interação com o ambiente.

No segundo tópico, realizamos uma breve comparação do comportamento ondulatório e do comportamento corpuscular da luz, sendo a análise do comportamento corpuscular o ponto de partida para o entendimento de fenômenos mais complexos, tais como o efeito fotoelétrico, o qual revela a interação da luz com a matéria. No terceiro tópico, discutimos o conceito de salto quântico, abordando os modelos atômicos e discutindo a relação entre o modelo atômico de Bohr e a absorção de luz, a emissão de luz e a emissão estimulada de luz.

Avançando para o campo das aplicações práticas, o quarto tópico explora a Física do estado sólido, e é dividido em duas seções, sendo uma sobre o funcionamento do LED e a outra sobre o funcionamento do laser. A seção que aborda sobre o funcionamento do LED (Diodo Emissor de Luz) aborda os níveis de energia e a energia de *gap* de materiais isolantes, condutores e semicondutores, que resultam em fenômenos luminosos, um conceito central para o entendimento da emissão controlada de luz, como ocorre em tecnologias modernas, explicando os princípios de emissão de luz que se tornaram a base para dispositivos de iluminação eficientes e sustentáveis.

A segunda seção do tópico 4 aprofunda-se sobre o funcionamento do laser, explicando o processo de emissão estimulada, bem como apresenta a composição que permite o funcionamento dessa ferramenta. Nessa seção também apresentamos os tipos de lasers que existem na tecnologia atual. Finalizamos fazendo uma breve explicação sobre como essa tecnologia se tornou uma ferramenta tecnológica única e essencial para a aplicação em diversas áreas, tais como a medicina, as comunicações, a indústria, entre outras.

4.1 Ondas

Ondas são vibrações que transportam energia, deslocando uma perturbação de uma região para outra do sistema. Como exemplos, temos as ondas eletromagnéticas da luz, que transportam a energia solar que tanto aquece a Terra como produz eletricidade nas células fotovoltaicas, ou as ondas sísmicas que são capazes de rachar a costa terrestre. Halliday (2002) explicam as ondas com base nos meios materiais, tais como as ondas mecânicas, como em cordas, e ondas eletromagnéticas que se propagam no vácuo, como por exemplo a luz e as ondas de rádio (Halliday, 2002).

Tipler e Mosca (2009) acrescentam que ondas são oscilações que se propagam no espaço e no tempo, as quais são descritas por funções harmônicas senoides e cossenoides, caracterizadas por parâmetros como frequência, período, amplitude e comprimento de onda,

$$y(x, t) = A \sin(kx - \omega t + \phi), \quad (1)$$

Onde $y(x, t)$ é o deslocamento do meio onde está a onda no ponto x no instante t , e A é a amplitude da onda, que determina valores máximos e mínimos neste deslocamento. O valor de $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ é o número de onda, relacionado ao comprimento de onda λ (distância entre dois pontos sucessivos em fase), e $\omega = 2\pi f$ corresponde à frequência angular da onda, que está relacionada à frequência f do número de oscilações por segundo. ϕ é a fase inicial dessa função harmônica (Tipler; Mosca, 2009).

Ainda com base em Halliday (2002, 117, grifo da autora), as ondas podem ser de três tipos:

- **Ondas mecânicas:** São ondas que precisam de um meio para se propagar, tais como ondas em sólidos, líquidos e gases.
- **Ondas eletromagnéticas:** São ondas que não precisam de um meio material para se propagar, ou seja, se propagam no vácuo, porém estão presentes em nossos cotidianos, pois podem ser percebidas nas ondas de rádio, ondas de Tv, micro-ondas, entre outras. Essas se propagam com a mesma velocidade $c = 299.792.458 \text{ m/s}$.
- **Ondas de matéria:** São ondas associadas a elétrons, prótons e outras partículas elementares, as quais surgiram no contexto da física moderna.

4.1.1 A luz

A luz é uma onda eletromagnética visível ao olho humano em um certo intervalo de frequências/comprimentos de onda, que tem sido assunto de investigação dos filósofos e cientistas por séculos. “Ibn al-Haytham foi o primeiro a explicar corretamente a teoria da visão, por volta de 1000 d.c, ao argumentar que a visão ocorre no cérebro, apontando para observações de que é subjetiva e afetada pela experiência pessoal”¹.

Robert Grosseteste, que nasceu mais de 130 anos depois da morte de Ibn al-Haytham, também estudou a natureza da luz e considerava que “[...] a luz, por sua extensão, condensação e rarefação, explicava todos os fenômenos do Universo como fundamento da criação no universo e desenvolveu teorias iniciais sobre reflexão e refração” (Caruso; Oguri, 2016, p. 130). Porém, a base sólida da Óptica só começou a se edificar por volta do século XVII com a ciência experimental (Caruso; Oguri, 2016).

Newton, em 1666, realizou um experimento simples para o estudo da luz, ao demonstrar que a luz solar poderia ser decomposta em várias cores utilizando-se um prisma, no qual as cores teriam índices de refração diferentes, fazendo com que cada cor tivesse uma direção diferente dentro do prisma, dando origem ao espectro do arco-íris. Ou seja, a cada cor é atribuído um comprimento de onda diferente, posteriormente definido pela teoria ondulatória do século XIX, em que cada cor é relacionada a um comprimento de onda e quanto menor o comprimento de onda, maior o índice de refração (Caruso; Oguri, 2016).

Thomas Young, em meados de 1800, também se dedicou aos estudos da óptica. Ele demonstrou experimentalmente a natureza ondulatória da luz, ao estabelecer os princípios de interferência e difração que revolucionaram a compreensão da óptica. No teste da dupla fenda, Thomas Young deixou passar luz por duas pequenas aberturas, as quais formaram sombras de interferências, provando que luz não era formada de partículas como sugerido por Newton, teste este que ficou conhecido como “experimento da dupla fenda” (Halliday, 2002).

A descrição eletromagnética da luz só teve seu ápice no século XVIII, quando Maxwell realizou uma síntese dos fenômenos elétricos, magnéticos e ópticos, unificando em um conjunto de quatro equações diferenciais, as quais são conhecidas como as equações de Maxwell, que são escritas com base no sistema Internacional de Unidades (SI) em notação vetorial (Caruso; Oguri, 2016).

¹ Informação disponível em Wikipedia Contributors.

4.1.2 As equações de Maxwell

São 4 equações que simplificam as interações entre os campos elétricos e magnéticos, mostradas através desses princípios físicos. Pautado na descoberta do campo magnético da Terra, e nas leis de Faraday e Ampere, Maxwell sintetizou os fluxos magnéticos e elétricos em 4 equações descritas no Quadro 2.

Quadro 2 – Equações de Maxwell

Nome	Equação	Descrição
Lei de Gauss para a eletricidade	$\oint \vec{E} d\vec{A} = \frac{q}{\epsilon_0} \quad (2)$	Relaciona o fluxo elétrico às cargas elétricas envolvidas.
Lei de Gauss para o magnetismo	$\oint \vec{B} d\vec{A} = 0 \quad (3)$	Relaciona o fluxo magnético às cargas magnéticas envolvidas.
Lei de Faraday	$\oint \vec{E} d\vec{s} = \frac{-d\Phi_B}{dt} \quad (4)$	Relaciona o campo elétrico induzido à variação do fluxo magnético.
Lei de Ampere-Maxwell	$\oint \vec{B} d\vec{s} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} \quad (5)$	Relaciona o campo magnético induzido à variação do fluxo elétrico e à corrente.

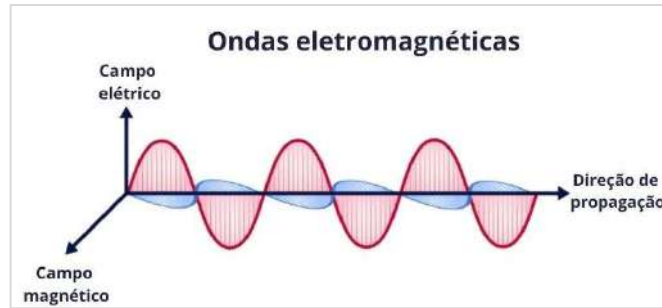
Fonte: Halliday (2002, p. 331).

Como explicaremos em mais detalhes a seguir, com base nessas equações, Maxwell mostrou que a propagação dos raios luminosos está relacionada aos estudos dos ramos elétricos e magnéticos, levando o estudo da luz ao ramo do eletromagnetismo. Inicialmente, em meados do século XIX, a luz visível, os raios infravermelhos e os raios ultravioletas eram as únicas ondas eletromagnéticas conhecidas. Posteriormente, com as previsões de Maxwell e Hertz, observou-se também que outras ondas, como as ondas de rádio e micro-ondas, se propagavam com a mesma velocidade da luz visível (Halliday, 2002).

4.1.3 Ondas eletromagnéticas

As ondas eletromagnéticas são produzidas através de uma variação do campo elétrico E e do campo magnético B . O módulo e o sentido dos campos elétrico e magnético variam periodicamente, e eles são mutuamente perpendiculares em relação a direção das ondas, como podemos observar na Figura 1.

Figura 1 – Onda eletromagnética



Fonte: Google Imagens.

O produto $\vec{E} \times \vec{B}$ aponta no sentido de propagação da onda e tanto \vec{E} quanto \vec{B} variam em forma senoidal, com a mesma frequência e estão em fase. Assim, essas podem ser representadas por: $\vec{E} = \vec{E}_m \sin(kx - \omega t) \hat{y}$ (6) e $\vec{B} = \vec{B}_m \sin(kx - \omega t) \hat{z}$ (7).

4.1.4 A velocidade da luz

Realizamos a dedução da velocidade da luz através das equações de Maxwell pautados nas explicações de Halliday, Resnick e Walker (2009). A velocidade da luz pode ser obtida através da razão entre as amplitudes do campo elétrico e do campo magnético.

$$\frac{\vec{E}_m}{\vec{B}_m} = c \quad (8)$$

Abordando a lei de indução de Faraday na Equação (4) para explicar onda eletromagnética, temos que em termos diferenciais (assumindo simetria apropriada para ondas), ela é reescrita como:

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (9)$$

Considere também a lei de indução de Maxwell pela equação (5), que, em termos diferenciais, é dada por:

$$\nabla \times \vec{B} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (10)$$

Derivando em termos das equações de propagação de ondas pelas equações (6) e (7) obtemos que se:

$$\frac{\partial \vec{E}}{\partial x} = \frac{\partial E_m \sin(kx - \omega t)}{\partial x} = k E_m \cos(kx - \omega t) \hat{y}. \quad (11)$$

E:

$$\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = \frac{\partial B_m \sin(kx - \omega t)}{\partial t} = -\omega B_m \cos(kx - \omega t) \hat{z}. \quad (12)$$

Verificamos isso substituindo essas expressões na lei de indução de Faraday. Com isso, temos:

$$kE_m \cos(kx - \omega t) = \omega B_m \cos(kx - \omega t). \quad (13)$$

Simplificando:

$$kE_m = \omega B_m \quad (14)$$

Logo:

$$\frac{E_m}{B_m} = \frac{\omega}{k} = c \quad (15)$$

Onde c é a velocidade de propagação dessas ondas. Na verdade, da teoria geral que descreve o comportamento de qualquer onda, sabemos que a velocidade de propagação da onda é $c = \lambda f$ (16), e que:

$$\omega = 2\pi f \quad (17) \text{ e } k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (18)$$

Logo:

$$\frac{\omega}{k} = \frac{2\pi f}{\frac{2\pi}{\lambda}} = c. \quad (19)$$

Por outro lado, substituindo a lei de Maxwell- Ampère na fórmula diferencial no vácuo, pela equação (10) temos que assumindo o campo magnético apenas com componentes em z e dependente de x , temos:

$$\nabla \times \vec{B} = \frac{\partial \vec{B}}{\partial x}, \quad (20)$$

E:

$$\frac{\partial \vec{E}}{\partial t} = \mu_0 \varepsilon_0 \omega E_m \cos(kx - \omega t), \quad (21)$$

Então, derivando \vec{B} em relação a x :

$$\frac{\partial \vec{B}}{\partial x} = \frac{\partial \vec{E}_m \sin(kx - \omega t)}{\partial x} = k \vec{B}_m \cos(kx - \omega t) \quad (22)$$

Substituindo esses valores com:

$$\frac{\partial \vec{B}}{\partial x} = \frac{\partial \vec{E}}{\partial t}, \quad (23)$$

Temos:

$$k \vec{B}_m \cos(kx - \omega t) = \mu_0 \varepsilon_0 \omega E_m \cos(kx - \omega t), \quad (24)$$

Logo:

$$k \vec{B}_m = \mu_0 \varepsilon_0 \omega \vec{E}_m. \quad (25)$$

Finalmente, temos que:

$$\frac{E_m}{B_m} = \frac{k}{\omega} \cdot \frac{1}{\mu_0 \varepsilon_0}, \quad (26)$$

Levando então a:

$$\frac{\omega}{k} = \frac{k}{\omega} \cdot \frac{1}{\mu_0 \epsilon_0}, \quad (27)$$

De forma que:

$$\frac{\omega^2}{k^2} = \frac{1}{\mu_0 \epsilon_0} \quad (28)$$

Se:

$$c = \frac{\omega}{k} \quad (29)$$

Logo, a velocidade das ondas eletromagnéticas no vácuo é determinada pelo inverso da raiz quadrada das constantes $\mu_0 \epsilon_0$ que correspondem à μ_0 (permeabilidade magnética) e (permissividade elétrica), resultando na velocidade da luz, que corresponde à:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \quad (30)$$

Substituímos os valores das constantes físicas do vácuo:

$$c = \frac{1}{\sqrt{(4\pi \cdot 10^{-7}) \cdot (8.854 \cdot 10^{12})}} \quad (31)$$

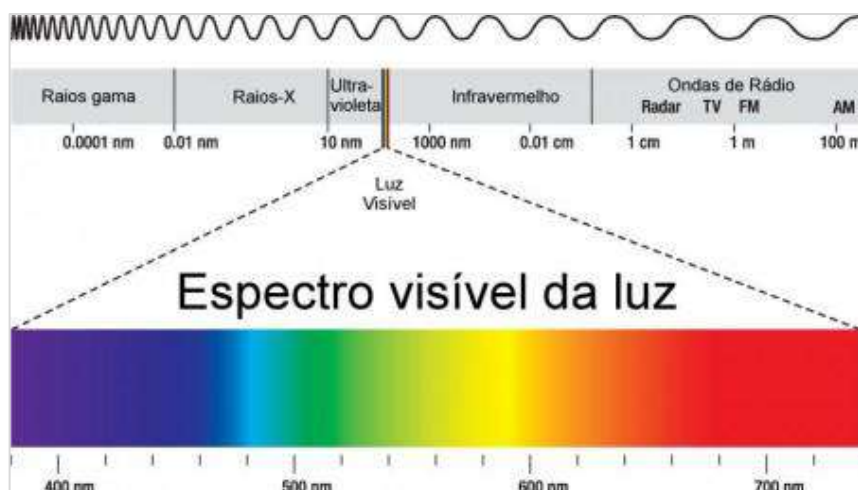
Enfim, a velocidade da luz é dada por:

$$c = 299792458 \frac{m}{s} \quad (32)$$

4.1.5 O espectro eletromagnético

É uma organização escalar das radiações conhecidas atualmente, de acordo com o comprimento de onda e a frequência emitida por cada onda, em que o produto dessas duas constantes leva a um valor fixo da velocidade da luz. As extremidades desse espectro estão abertas, pois o espectro eletromagnético não tem limites definidos. O olho tem sensibilidade para perceber 1% dos valores máximos, que corresponde a aproximadamente 430nm a 690nm (Halliday, 2002).

Figura 1 – Espectro eletromagnético



Fonte: Google Imagens.

Na Figura 2, os vários tipos de ondas eletromagnéticas são registrados em um espectro eletromagnético e organizados com base na frequência e comprimento de onda. Note que não há uma divisão clara e exata entre um tipo de onda e o próximo. Os nomes dados aos tipos de ondas são apenas por conveniência para descrever a região do espectro em que são encontradas (Serway; Beichner, 1999).

As ondas de rádio são o resultado de cargas que são aceleradas através de fios de condução. Localizados em uma escala que varia de 10^4 a quase 0,1 milímetro de comprimento de onda, eles são gerados por dispositivos eletrônicos, como osciladores LC, e são usados em sistemas de comunicação de rádio e televisão. As micro-ondas têm comprimentos de onda que variam de aproximadamente 0,3 m a 10^{-4} m e são geradas por dispositivos eletrônicos. Devido ao seu comprimento de onda curto, eles são adequados para sistemas de radar e para o estudo das propriedades atômicas e moleculares da matéria (Serway; Beichner, 1999).

As ondas infravermelhas têm comprimentos de onda que variam de 10^{-3} m até o comprimento de onda mais longo da luz visível, no comprimento de onda 7×10^{-7} m. Tais ondas, produzidas por moléculas e objetos à temperatura ambiente, são facilmente absorvidas pela maioria dos materiais. A radiação infravermelha tem muitas aplicações práticas e científicas em diversas áreas, que incluem fisioterapia, fotografia infravermelha e espectroscopia vibracional (Serway; Beichner, 1999).

A luz visível é a forma mais familiar de ondas eletromagnéticas; é a parte do espectro eletromagnético que os olhos humanos podem detectar. Esse tipo de luz pode ser produzida, por exemplo, pelo rearranjo de elétrons em átomos e moléculas – é o que ocorre nas lâmpadas de gás que temos em algumas casas. Os vários comprimentos de onda da luz visível,

que correspondem às diferentes cores, vão do vermelho, com comprimento de onda de $7 \times 10^{-7} \text{m}$ ao violeta, com comprimento de onda de $4 \times 10^{-7} \text{m}$. A sensibilidade do olho humano à percepção da luz depende do seu comprimento de onda, com uma percepção máxima no comprimento de onda de $5,5 \times 10^{-7} \text{m}$, que fica nas cores entre o amarelo e o verde (Serway; Beichner, 1999).

As ondas ultravioletas abrangem comprimentos de onda que variam de cerca de $4 \times 10^{-7} \text{m}$ a $6 \times 10^{-10} \text{m}$. O sol é uma das principais fontes de luz ultravioleta (UV), que é a principal causa do bronzeamento. As loções bloqueadoras são transparentes à luz visível, mas absorvem a maior parte da luz UV. Quanto maior o fator de proteção solar (FPS) do protetor solar, maior a porcentagem de luz UV absorvida. A maior parte da luz UV do Sol é absorvida pelas moléculas de ozônio (O_3) na camada superior da atmosfera terrestre, chamada estratosfera (Serway; Beichner, 1999).

Os raios X têm comprimentos de onda na faixa de aproximadamente 10^{-8}m a 10^{-12}m . A fonte mais comum de raios X é a desaceleração de elétrons de alta energia que bombardeiam um alvo metálico – ao desacelerar, a energia cinética deles é convertida nos fótons dessa “luz”, que chamamos de raio X. Eles são usados como ferramenta de diagnóstico na medicina e como tratamento para certas formas de câncer. No caso de diagnóstico, o funcionamento se baseia, por exemplo, no fato de que os nossos tecidos moles (músculos, pele, etc.) são transparentes para esta faixa de frequências de luz, enquanto nossos ossos não são.

Com isso, ao se iluminar nosso corpo com raios X e se observar a sombra dele feita sobre um anteparo, a única sombra que vemos é a dos nossos ossos. Note, porém, que essa luz não é visível ao olho humano, por isso, precisamos projetar essa luz/sombra sobre uma chapa radiográfica, que muda de cor quando a luz incide sobre ela, fazendo com que a parte da sombra (que representa nossos ossos) tenha uma cor diferente na chapa e nos deixe visualizar detalhes como fraturas, calos ósseos e torsões. Como os raios X danificam ou destroem tecidos e organismos vivos, deve-se tomar cuidado para evitar exposição ou superexposição. Esses tipos de raios também são utilizados no estudo da estrutura cristalina, pois seus comprimentos de onda são comparáveis às distâncias de separação atômica em sólidos (em torno de $0,1 \text{nm}$) (Serway; Beichner, 1999).

Os raios gama são ondas eletromagnéticas que têm sua emissão no núcleo radioativo. Átomos com núcleos muito pesados, como ^{60}Co (cobalto 60) e ^{137}Cs (césio 137), sofrem certas reações nucleares, as quais ejetam fótons de alta energia, que são chamados de raios gama. Eles são um componente dos raios cósmicos que entram na atmosfera da Terra vindos do espaço. Com isso, ele tem comprimentos de onda que variam de cerca de 10^{-10}m a

menos de 10^{-14} m. Logo, são muito penetrantes e podem produzir sérios danos quando absorvidos por tecidos vivos. São usadas na medicina em tratamento de câncer para destruir células danificadas (Serway; Beichner, 1999).

4.2 O comportamento corpuscular da luz

A partir das primeiras teorias clássicas para a luz, que a descreviam como uma onda eletromagnética, até os avanços da física moderna, onde a natureza corpuscular da luz entra em evidência através do fóton, uma partícula elementar cuja descoberta e estudo revolucionaram a ciência moderna, abordaremos a luz agora em uma perspectiva da Física moderna integrada aos conceitos clássicos para explicar a *dualidade onda-partícula*, comparando o comportamento ondulatório de luz ao comportamento corpuscular associado, por exemplo, ao efeito fotoelétrico (Caruso; Oguri, 2016).

4.2.1 Dualidade onda-partícula

A dualidade da luz apresentada através das teorias corpuscular e da teoria ondulatória da luz representa uma discussão histórica da física que trata de uma complexidade intrínseca da natureza da luz. Essas discussões tiveram seu início entre os séculos XVII e XVIII, quando os cientistas tentavam compreender os modelos fundamentais para a evolução da óptica e para o desenvolvimento dos conceitos mais sofisticados na Física moderna (Serway; Beichner, 1999).

Apesar de Ibn al-Haytham já ter argumentado por volta de 1000 d.c que a visão ocorre no cérebro, a ideia de que a luz era considerada um fluxo de partículas emitidas pelo objeto, que era visto ou emitido pelos olhos do observador, durou por muitos anos. Isaac Newton, no século XVII, foi pioneiro em explicar que a luz era formada por partículas e que tinham o poder de estimular o sentido da visão quando entravam no olho. Essa explicação também era capaz de descrever o fenômeno de reflexão e refração. Em 1678, um físico e astrônomo holandês, Christian Huygens, demonstrou que a teoria ondulatória da luz capaz também poderia explicar a reflexão e a refração (Serway; Beichner, 1999).

A teoria corpuscular da luz foi defendida por Isaac Newton, enquanto a teoria ondulatória era defendida por Christian Huygens, ambos contemporâneos do século XVII. Newton acreditava que a luz era composta por corpúsculos ou partículas. O tratamento da luz como uma partícula era compatível com a ótica geométrica e foi capaz de explicar muitos

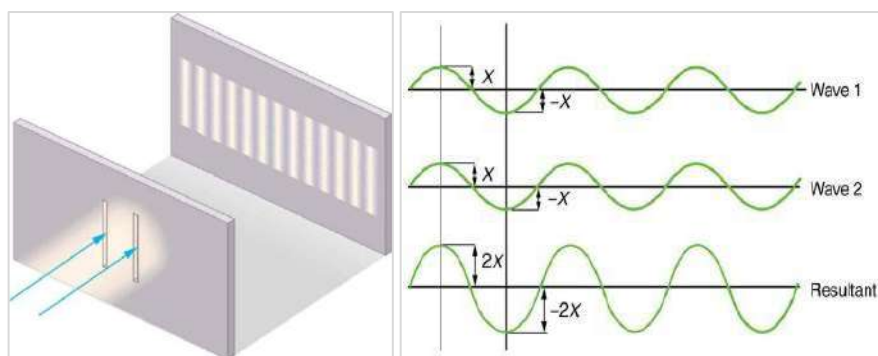
fenômenos cotidianos, como a propagação retilínea da luz e sua reflexão em superfícies lustrosas (Caruso; Oguri, 2016).

Paralelamente à teoria corpuscular de Newton, Christian Huygens defendia a teoria ondulatória que propõe o comportamento da luz como uma onda, a qual era capaz de propagar-se através de um meio hipotético, como o éter luminífero. Além da refração e da reflexão, a teoria ondulatória também era capaz de explicar fenômenos como a difração e a interferência. Esses fenômenos eram difíceis de ser descritos pela teoria corpuscular. Thomas Young demonstrou a experiência da dupla fenda no início do século XIX, fornecendo evidências para a natureza ondulatória da luz, mostrando padrões de interferência (Caruso; Oguri, 2016).

4.2.2 Natureza ondulatória da luz

O físico e médico inglês Thomas Young (1773-1829), em 1801, fez o experimento de dupla fenda, no qual ele passou a luz de uma única fonte (o Sol) através de uma única fenda para tornar a luz coerente, ou seja, em uma única fase, em seguida passou a luz por uma fenda dupla e percebeu que a luz de comprimento de onda puro enviada através de um par de fendas verticais é difratada em um padrão na tela de várias linhas verticais espalhadas horizontalmente, como ilustrado na Figura 3. Note que sem a difração e interferência, a luz simplesmente faria duas linhas na tela de anteparo – é como o que aconteceria se você atirasse várias bolinhas contra duas brechas em uma parede. As várias franjas observadas no experimento, porém, têm uma explicação muito fácil na teoria ondulatória da luz: elas se dão porque a fenda dupla fornece duas fontes de luz coerentes que geram interferências construtivas entre elas (Caruso; Oguri, 2016) – e interferência só acontece para ondas, não para partículas. Logo, a luz deveria ser uma onda, segundo esse experimento.

Figura 3 – Padrão de interferência da dupla fenda



Fonte: Google Imagens.

As equações de Maxwell trouxeram um suporte a mais a essa ideia, ao afirmar que a luz era uma onda eletromagnética, capaz de se propagar no vácuo. O advento da teoria quântica no século XX, porém, desafiou e expandiu a compreensão da luz. Seguindo uma ideia originalmente usada por Planck para explicar a radiação de corpo negro (que é como a radiação emitida pelo sol, por exemplo), Einstein, em seu estudo sobre o efeito fotoelétrico, ressuscitou a ideia do comportamento corpuscular da luz ao introduzir o conceito de fótons, unidades discretas de energia eletromagnética. A síntese dessas teorias divergentes na forma da dualidade onda-partícula representa um dos pilares da mecânica quântica moderna. Enquanto antigas teorias se isolavam no corpuscular ou no ondulatório, a mecânica quântica abraça a complexidade, permitindo que a luz revele plenamente sua dualidade (Feynman *et al.*, 2006).

4.2.3 A natureza corpuscular da luz: o fóton

Os estudos de Max Planck em 1900 postularam a existência de pequenos pacotes de energia de radiação luminosa, ou seja, os quanta de luz, como iremos detalhar mais adiante. Contudo, foi Einstein quem os denominou de fótons através da explicação do efeito fotoelétrico (Abdalla, 1954).

O fóton é uma partícula que compõe a luz, a qual carrega energia e momento, sendo a energia o produto da frequência e a constante de Planck ($E = \nu \cdot h$) (33) e o momento a razão entre a constante de Planck e o comprimento de onda do fóton ($p = \frac{h}{\lambda}$) (34). Considerando que a frequência é dada pela relação entre a velocidade da luz e o comprimento de onda, percebeu-se então que a energia de um fóton deve ser dada pelo produto entre o momento e a velocidade da luz ($E = c \cdot p$) (35) e ao considerar que a velocidade da luz é constante, conclui-se que a energia e o momento são proporcionais um ao outro para a luz (Feynman *et al.*, 2006). O que estamos enfatizando aqui é que (i) ondas possuem comprimento de onda λ e frequência ν ; (ii) partículas possuem energia E e momentum p ; agora, poderemos definir que o fóton (na verdade, qualquer partícula, segundo a teoria de de Broglie - mas isso não vem ao caso agora) tem sua onda correspondente de maneira a combinar as informações de (i) e (ii) nas expressões acima.

Essa partícula foi contextualizada a partir do conceito de pacotes de energia que definia o termo quantum de luz. Segundo Tipler e Mosca (2009), o conceito de quantização da matéria deu referência ao conceito de quantização no início do século XX. A quantização da energia luminosa e a quantização da energia mecânica foram ideias revolucionárias que trouxeram grande importância para a física moderna (Tipler; Mosca, 2009).

O estudo da radiação térmica emitida por corpos opacos, também conhecidos como corpo negro, forneceu os primeiros indícios da natureza quântica da radiação. Essa definição pode ser explicada pelo comportamento dos átomos que, ao absorver mais radiação, oscilam mais vigorosamente em torno da posição de equilíbrio, aumentando a temperatura e a energia cinética média dos átomos. Como os corpos são formados por elétrons, esses, por sua vez, emitem radiação para reduzir a taxa de energia cinética dos átomos. “Quando a taxa de absorção é igual à taxa de emissão, a temperatura permanece constante e dizemos que o corpo se encontra em equilíbrio térmico com o ambiente” (Tipler; Llewellyn, 2017, p. 139).

A radiação eletromagnética emitida por esses átomos não é visível em temperaturas abaixo de 600 °C, pois os comprimentos de onda são maiores que os da luz visível, porém, quando um corpo é aquecido entre 600 e 700 °C, a quantidade de radiação térmica emitida aumenta, fazendo a energia irradiada passar para comprimentos de onda menores, ou seja, dentro da faixa do espectro visível, e com isso o corpo começa a brilhar com luz própria, inicialmente com a cor vermelho-escuro, em seguida com luz vermelho-clara, chegando até o branco (Tipler; Llewellyn, 2017).

Planck tentou associar o conceito de radiação do corpo negro aos princípios da física clássica, com o conceito de pacotes de energia, porém o termo só foi realmente apreciado a partir de 1905 com a explicação de Einstein ao abordar que a quantização era uma característica fundamental da energia luminosa. O efeito fotoelétrico sugeriu que, em vez de ser apenas uma propriedade misteriosa dos osciladores nas paredes das cavidades e da radiação dos corpos negros, a quantização da luz em fótons é algo geral, que poderia ser observado em experimentos onde o caráter de “choque” entre fótons e outras partículas é enfatizado (Tipler; Llewellyn, 2017).

4.2.4 O postulado de Planck

Planck realizou seu trabalho na tentativa de explicar o comportamento de elétrons na parede do corpo negro e de sua interação com a radiação eletromagnética dentro da cavidade. A definição da relação entre a energia de um fóton e a frequência pode ser verificada por meio de do estudo da radiação do corpo negro. Pautados nos estudos de Eisberg e Resnick (1994) temos que a definição da energia pode ser verificada considerando um volume interno ao corpo negro que irradia com densidade volumétrica em uma temperatura fixa, que é dada por $\rho = (v)dv$ (36), definida como a energia contida em um volume unitário da cavidade a uma temperatura T, no intervalo de frequência v a $v + dv$ (37). Na cavidade interna, acredita-se que

o buraco negro está emitindo radiação em todas as áreas. Após uma análise de frequências de ondas estacionárias em uma caixa tridimensional, encontramos a derivada da energia em termos da derivada da frequência, área da abertura do “buraco” por onde a luz sai do corpo e do tempo.

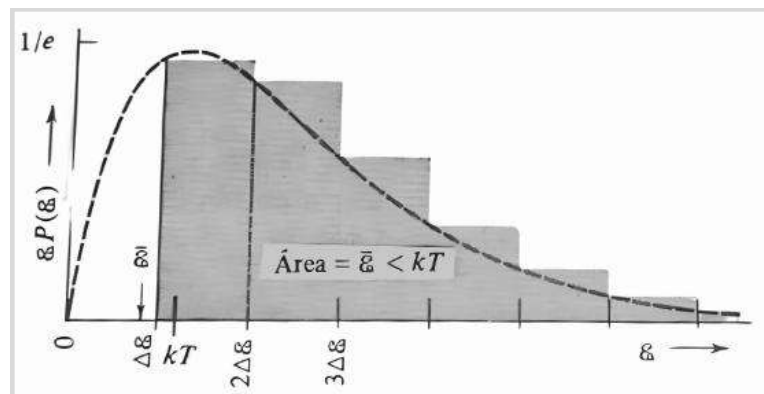
$$dE(\nu)d\nu = \frac{1}{4}c\rho_T(\nu d\nu dA dt) \quad (38)$$

A potência de radiação $R_T(\nu)$ é definida como a energia por tempo (ou seja, potência) transferida pela luz através de uma certa área. Ela seria então proporcional à expressão anterior:

$$R(\nu) = \frac{1}{4}c\rho_T(\nu). \quad (39)$$

Podemos tentar buscar a função de distribuição $\rho_T(\nu)$ através da teoria de Boltzmann para as energias em um gás. Isso foi feito por estudos anteriores de Wien e Rayleigh-Jeans, porém, os resultados não eram satisfatórios – eles não condiziam com a distribuição de potência de radiação por frequência (ou energia) observada no experimento, como ilustrada na Fig. 4. Planck então percebeu que, para resolver o problema e encontrar exatamente o resultado experimental, teríamos que repetir as teorias de Wien, Rayleigh-Jeans e, principalmente, de Boltzmann, mas agora assumindo que a energia emitida é uma função da frequência da luz $E(\nu)$ e que essa energia assume valores discretos de $E = 0, \Delta E, 2\Delta E, 3\Delta E, \dots$, como podemos observar no gráfico de distribuição de valores de energia disposto na Figura 4.

Figura 4 – Gráfico da distribuição de valores possíveis de energia



Fonte: Eisberg e Resnick (1994, p. 35).

Assim, o postulado de Planck é definido como:

Qualquer ente físico com um grau de liberdade cuja coordenada é uma função senoidal do tempo (isto é, executa oscilações harmônicas simples) pode possuir apenas energias totais E que satisfaçam à relação $E_n = nh\nu$ em que n pode assumir valores inteiros, $n = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$ (Eisberg; Resnick, 1994, p. 23).

Sendo h a constante de Planck e ν a frequência de oscilação.

4.2.5 O efeito fotoelétrico

O efeito fotoelétrico acontece quando elétrons são removidos de uma superfície metálica ao sofrer a iluminação de um feixe de luz. Esse fenômeno foi descoberto em 1887, por Hertz, acidentalmente quando esse:

Estava usando um circuito sintonizado com um centelhador para gerar as ondas e um circuito semelhante para detectá-las, observou acidentalmente que, quando a luz proveniente do centelhador do transmissor deixava de incidir no centelhador do receptor, era necessário reduzir a distância entre os eletrodos do segundo centelhador para continuar recebendo os sinais. A luz facilitava, portanto, a produção de centelhas (Tipler; Llewellyn, 2017, p. 145).

Ou seja, a luz que estava gerando interferências no experimento era capaz de gerar centelhas, logo a luz estava arrancando elétrons da superfície metálica. Com isso, este famoso experimento, denominado efeito fotoelétrico, foi capaz de demonstrar que as ondas eletromagnéticas eram capazes de remover elétrons – ora, isso não seria surpreendente, já que a onda eletromagnética pode sim transferir energia cinética a um elétron da superfície e arrancá-lo com uma certa velocidade, afinal, transferência de energia por tempo (ou potência) é uma das premissas da definição de intensidade de radiação que discutimos na Seção anterior. Uma discussão aprofundada do fenômeno, porém, revela que ele só pode ser descrito completamente e corretamente se assumirmos uma teoria onde a luz é um feixe de fótons, não uma onda, como veremos a seguir.

A descoberta inesperada do efeito fotoelétrico incomodou Hertz, pois interferia em sua pesquisa principal. Sabendo que se tratava de um fenômeno importante, o cientista interrompeu todos os outros trabalhos durante seis meses para estudá-lo mais de perto. Hertz descobriu que uma descarga elétrica entre um par de eletrodos é mais facilmente descarregada quando se incide sobre eles uma luz ultravioleta. Hertz desenvolveu essa estratégia para tentar solucionar a interferência dos elétrons que estavam atrapalhando o experimento que estava realizando, contudo, foi Einstein que conseguiu justificar que a quantização da energia usada por Planck no problema do corpo negro era capaz de explicar o fenômeno, sendo, na verdade, uma característica universal da luz (Tipler; Llewellyn, 2017).

Com isso, Einstein explicou que as partículas de luz devem estar distribuídas uniformemente no espaço no qual se propagam, sendo estas constituídas de pacotes de quanta discretos, com energia igual ao produto da constante de Planck e a frequência ($h\nu$). Um quanta passou a ser denominado fóton. Assim, um fóton, ao chegar na superfície metálica considerada o cátodo, transfere toda a sua energia para um elétron, através do choque entre estas partículas.

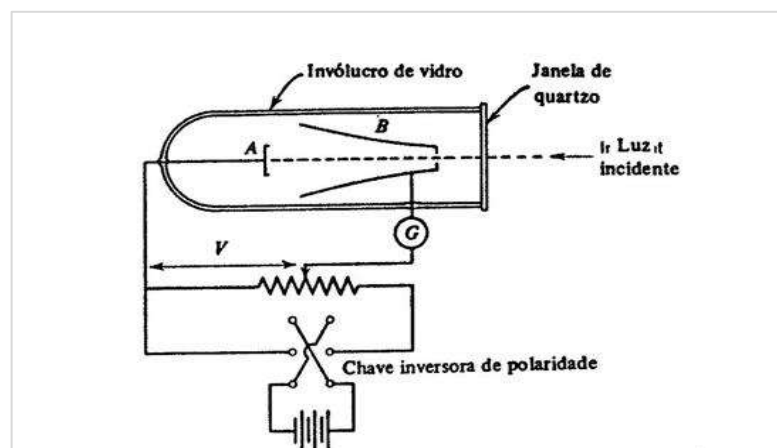
Porém, este só é capaz de remover o elétron se ele tiver, pelo menos, a energia ϕ , que é a energia mínima necessária para que um elétron seja liberado da superfície de um material (Tipler; Llewellyn, 2017). Esta energia mínima também é conhecida como “função trabalho” do material.

Matematicamente, a equação de energia cinética do elétron ejetado no efeito fotoelétrico proposta por Einstein é $K = h\nu - \phi$ (40), ou seja, o que sobra de energia cinética para o elétron ejetado é igual à energia do fóton de luz subtraída da energia gasta para remover esse elétron inicialmente.

4.2.5.1 Detalhes sobre os resultados do experimento

No experimento em que se percebeu a emissão de elétrons devido à presença de luz na superfície, se analisou a diferença de potencial aplicada por uma bateria no sistema que faz cessar a corrente elétrica entre as placas alvo e a placa coletora. Em outras palavras, essa diferença de potencial é uma representação da conversão de energia cinética do elétron ejetado em energia potencial – ela nos permite então medir a energia cinética do elétron ejetado da placa pela luz.

Figura 5 – Aparelho usado para estudar o efeito fotoelétrico



Fonte: Eisberg e Resnick (1994, p. 52).

O aparato básico para um estudo sistemático do efeito fotoelétrico, ilustrado na Figura 5, consiste num invólucro a vácuo, com dois eletrodos metálicos dentro dele, separados por uma pequena distância. A polaridade entre esses eletrodos é ajustado com uma diferença de potencial gerada por uma bateria, análogo ao que vemos em um capacitor. Uma radiação

eletromagnética deve incidir sobre um dos eletrodos, conhecido como fotocátodo, a fim de que este emita fotoelétrons em direção ao ânodo (Eisberg; Resnick, 1994).

Verificou-se que, ao aumentar o valor negativo do potencial, ao atingirmos o potencial de corte (V_{corte}), o qual está associado a uma corrente nula medida pelo amperímetro A, os elétrons são ejetados pelo alvo de maior energia e detidos antes de chegar ao coletor. Com isso, a energia cinética máxima desses elétrons, a qual é dada pelo produto da carga elementar e o potencial de corte (Eisberg; Resnick, 1994).

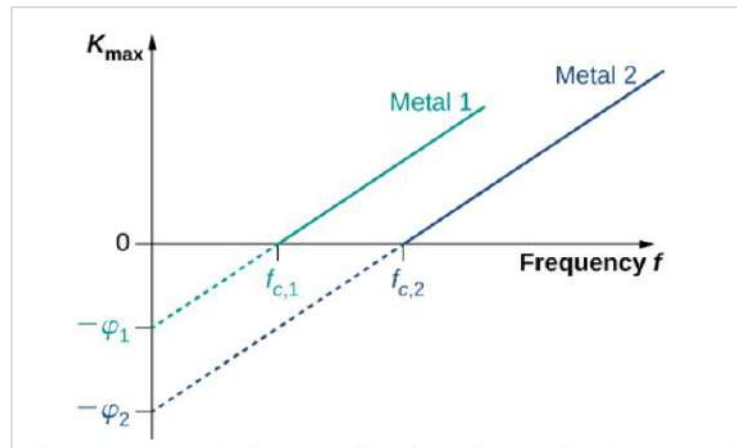
$$K_{\text{max}} = eV_{\text{corte}} \quad (41)$$

Considerando o experimento, foi identificado que o valor do potencial de corte não depende da intensidade da luz, depende apenas da frequência, tão logo considerou-se que o efeito fotoelétrico não está de acordo com a física clássica, pois essa não é capaz de explicar a hipótese dos fótons que apresenta um intervalo de tempo imensurável entre o momento em que a fonte luminosa é ligada e a emissão dos elétrons emitidos pelo cátodo (Eisberg; Resnick, 1994).

Assim, a hipótese dos fótons explica que, embora o número de fótons que incidem no metal por unidade de tempo seja pequeno, cada fóton tem energia suficiente para ejetar um elétron, embora exista uma probabilidade finita de que pelo menos alguns fótons sejam absorvidos (Tipler; Llewellyn, 2017).

Millikan também realizou experimentos para verificar o efeito fotoelétrico em 1914, o qual lhe valeu um prêmio Nobel em 1923, no qual observou que a frequência de corte está associada ao potencial limite zero, abaixo da qual o efeito fotoelétrico deixa de acontecer. Observou-se então que o efeito fotoelétrico não acontece se a frequência for menor que a frequência de corte, ou seja, quando a frequência da luz é menor que a frequência de corte, os elétrons não são ejetados, por mais intensa que seja a luz, pois a incidência de elétrons não depende da intensidade da luz. O valor da frequência de corte para o efeito fotoelétrico é uma propriedade física do metal: diferentes materiais têm diferentes valores de frequência de corte. O resultado de Milikan está ilustrado na Figura 6 (Tipler; Llewellyn, 2017).

Figura 6 – Energia cinética dos fotoelétrons na superfície versus a frequência da radiação incidente



Fonte: Google Imagens.

Já a função de trabalho está relacionada ao metal, ou seja, cada metal tem sua função de trabalho característica, conforme listado no Quadro 3.

Quadro 3 – Função trabalho de alguns elementos

Elemento	Função Trabalho (eV)
Na	2,28
Cs	1,95
Cd	4,07
Al	4,08
Ag	4,73
Pt	6,35
Mg	3,68
Ni	5,01
Se	5,11
Pb	4,14

Fonte: Adaptado de Tipler e Llewellyn (2017).

A junção dos trabalhos de Einstein e Milikan é o que acaba determinando definitivamente a diferença entre a teoria ondulatória e a corpuscular neste experimento: na teoria da luz como uma onda eletromagnética, essa onda pode até possuir uma potência pequena, mas ela sempre poderia fornecer energia suficiente até mesmo para vencer a função trabalho ϕ , se esperássemos um certo tempo. Porém, não é isso que se observa no experimento: se a frequência da luz for baixa, não interessa sua intensidade, ela nunca irá fornecer energia suficiente ao elétron para poder ejetá-lo! Como se explica isso, então? Somente na teoria corpuscular: assim como na ondulatória, a intensidade nela também está relacionada a “mais energia”, mas na teoria corpuscular, isso se dá por conta de termos “mais fótons”, mas cada

fóton, sozinho, possui somente uma energia $h\nu$, e se essa energia (ou seja, a frequência da luz) não for suficiente para vencer a função trabalho, o elétron simplesmente não é ejetado, como vemos no experimento.

4.3 O salto quântico e a absorção e emissão luz

A compreensão do conceito de salto quântico e emissão/absorção de luz perpassa pela compreensão do conceito de átomo, desde a definição de vazio, abordada por Demócrito e Leucipo, com as ideias de que a matéria é contínua, passando pelo átomo da química de Dalton, até chegar à definição de órbitas e níveis energéticos quantizados, com o modelo atômico de Bohr. Assim, descrevemos a seguir os modelos atômicos a fim de abordarmos a emissão de luz descrita com o átomo de Bohr, o qual é a base para o conceito de emissão e absorção de luz e a definição de emissão utilizada no funcionamento do laser (Caruso; Oguri, 2016).

Diante disso, essa sessão aborda parte do histórico do conceito de átomo até a emissão estimulada de luz. Assim, separamos esses baseados nas definições de átomos, partindo das hipóteses de Leucipo e Demócrito, passando por Dalton, Thomson, Rutherford e Bohr. Posteriormente, abordaremos os postulados de Bohr e a explicação da absorção, emissão de luz e emissão estimulada de luz (Caruso; Oguri, 2016).

4.3.1 *O átomo de Leucipo de Demócrito*

O conceito de átomo teve sua origem em meados dos anos 400 a.c. com o filósofo Leucipo e posteriormente pelo seu discípulo Demócrito. Ambos teriam acreditado que o átomo se move por colisões e choques. Com isso, Leucipo tentou demonstrar que a fonte do movimento está na própria matéria, relacionando a qualidade das coisas ao resultado dos deslocamentos e choques dos átomos. Entretanto, não chegaram a apresentar argumentos que justificassem o movimento inicial dos átomos (Caruso; Oguri, 2016).

Leucipo e Demócrito postularam o primeiro átomo, já validando que a matéria tinha um sentido contínuo. Enquanto Leucipo sustentava a ideia atomística de pequenez, Demócrito já atribuía aos átomos propriedades como tamanho, formato e peso, e que esses seriam indivisíveis, como proposto por Dalton mais de um século depois (Caruso; Oguri, 2016).

4.3.2 O átomo de Dalton

Dalton foi o primeiro cientista a desenvolver uma teoria atômica completa, que trouxe consolidação para a concepção atomística da Química ao longo do século XIX. Dalton formulou esse modelo atômico em 1808, mais de um milênio depois das hipóteses de Leucipo e Demócrito, porém as ideias de Demócrito já concomitavam com as ideias de Dalton ao conceber explicar que a matéria é composta de pequenas partículas chamadas átomos indivisíveis.

No século V a.C., Leucipo e Demócrito argumentaram que toda a matéria era composta de partículas pequenas e finitas que eles chamaram de *átomos*, um termo derivado da palavra grega para ‘indivisível’. Eles pensavam nos átomos como partículas em movimento que diferiam em forma e tamanho e que podiam se unir. Mais tarde, Aristóteles e outros chegaram à conclusão de que a matéria consistia em várias combinações dos quatro ‘elementos’ – fogo, terra, ar e água – e poderia ser infinitamente dividida. Curiosamente, esses filósofos pensavam em átomos e ‘elementos’ como conceitos filosóficos, mas aparentemente nunca consideraram a realização de experimentos para testar suas ideias.

Dalton postulou em sua teoria que todos os átomos têm a mesma propriedade se forem do mesmo elemento, sendo cada átomo com suas propriedades específicas. Quando dois átomos se juntam, formam um terceiro elemento, em que, durante uma reação química, nenhum átomo desaparece ou se transforma em outro elemento; eles se recombina para formar outras substâncias, combinando-se em inteiros ou frações. Assim, o postulado de Dalton expressa as leis de proporções e múltiplas da combinação dos átomos para formar as substâncias que formam a natureza.

Após as definições de Dalton sobre a definição de átomo, outros cientistas continuaram a árdua tarefa de tentar descobrir do que é feita a matéria. O modelo de Dalton, que descrevia o átomo como uma esfera indivisível e maciça, auxiliou no entendimento da estrutura atômica, que evoluiu significativamente, culminando no modelo de Thomson (Caruso; Oguri, 2016).

4.3.3 O átomo de Thomson

Em 1899, Joseph John Thomson realizou experimentos precisos com tubos de raios catódicos, a fim de elaborar um modelo para átomos, dois anos depois da descoberta da razão entre carga e massa do elétron, no qual ele imaginou ser composto por muitos corpúsculos, que

posteriormente foi denominado elétron. Com a definição do elétron, Thomson foi capaz de demonstrar que os átomos não eram indivisíveis, apresentando assim um novo conceito de estrutura interna composta por partículas subatômicas (Eisberg; Resnick, 1994).

J.J. Thomson propôs uma tentativa de descrição, ou modelo, de um átomo, segundo o qual os elétrons carregados negativamente estariam localizados no interior de uma distribuição contínua de cargas positivas. Supôs-se que a forma da distribuição de carga positiva fosse esférica, com um raio da ordem de grandeza conhecida do raio de um átomo, 10^{-10}m (Eisberg; Resnick, 1994, p. 123).

Pautado no movimento circular dos corpúsculos, Thomson discute o problema do movimento dos n -elétrons em anéis imersos em uma esfera carregada uniformemente. Caruso e Oguri (2016) descrevem o átomo de Thomson como um átomo de muitos elétrons que estariam distribuídos em anéis concêntricos, a fim de satisfazer a estabilidade e o equilíbrio do átomo. Apesar de isso não ter nada a ver com um pudim de ameixas, essa analogia ficou relacionada ao modelo pudim de ameixas devido à distribuição aleatória dos elétrons no átomo, equiparando a distribuição aleatória de ameixas em um pudim (Caruso; Oguri, 2016).

A transição do modelo atômico de Dalton para o de Thomson marcou um avanço significativo na ciência, desafiando o paradigma da indivisibilidade atômica e inaugurando a era da física subatômica. Essa evolução exemplifica como o progresso científico é impulsionado pela interação contínua entre teoria e experimentação, refinando nosso entendimento sobre a estrutura fundamental da matéria. Apesar de revolucionário, o modelo de Thomson não explicava adequadamente a distribuição de carga ou a estabilidade atômica, lacunas que seriam abordadas nos trabalhos subsequentes de Rutherford (Caruso; Oguri, 2016).

4.3.4 O átomo de Rutherford

Ernest Rutherford foi aluno de Thomson e demonstrou inconclusivo o modelo apresentado pelo seu mestre ao propor uma análise de experimentos sobre espalhamento de partículas α , as quais eram átomos duplamente ionizados, ou seja, era átomos de Hélio com dois elétrons retirados, os quais emitiam espontaneamente partículas α por vários materiais radioativos com grande velocidade. Com isso, Rutherford criou o arranjo de espalhamento de partículas por chapas metálicas que ele e seus colaboradores utilizaram para estudar sobre espalhamento de partículas α . (Eisberg; Resnick, 1994).

Com esse arranjo, Rutherford foi capaz de perceber que as partículas α se espalhavam sofrendo uma deflexão diferente para partículas α com energias diferentes, percebendo assim que para uma folha tão fina as partículas atravessam quase que

completamente, com pequenas diminuições de suas velocidades. Algumas partículas, porém, eram refletidas completamente para trás, como se estivessem se chocando com algo pequeno e pesado, tão pesado quanto elas mesmas (Caruso; Oguri, 2016).

Assim o modelo de Rutherford é apresentado com uma estrutura em que todas as cargas positivas e massa estão concentradas em um único centro, o qual nomeou de núcleo. O núcleo teria então dimensões tão pequenas que uma partícula α , ao passar próximo desse núcleo, sofre uma deflexão, sendo espalhada com forte repulsão colombiana. Os elétrons, por sua vez, se manteriam em trajetória circular em um raio de aproximadamente 10^{-14}m (Eisberg; Resnick, 1994).

Rutherford também apresentou os espectros atômicos, os quais foram obtidos a partir de descargas elétricas que atravessavam gases monoatômicos, em radiações colimadas por fendas que atravessavam um prisma, sendo decomposta em seu espectro de comprimento de ondas que era gravado em uma chapa fotográfica. A análise desses espectros está associada ao espectro e emissão de absorção de um átomo (Eisberg; Resnick, 1994).

A presença de um núcleo, porém, trouxe também a expectativa de uma instabilidade aos elétrons que se movimentam aceleradamente em uma órbita circular ao redor do núcleo. Esse movimento faria os elétrons perderem energia pela emissão de radiação eletromagnética, reduzindo suas órbitas com a perda de energia, levando-os a colidir com o núcleo. Esse problema foi discutido posteriormente por Niels Bohr, o qual adicionará regras de quantização dinâmica dos átomos para solucionar a instabilidade do modelo atômico de Rutherford (Eisberg; Resnick, 1994).

4.3.5 O átomo de Bohr

O modelo atômico de Bohr é considerado um dos mais simples e, no entanto, suficiente para o estudo da Mecânica quântica dos átomos. Com regras de quantização, Bohr buscou solucionar dificuldades encontradas na instabilidade apresentada nos modelos de Thomson e Rutherford. Ele discutiu em seu artigo sobre a diferença entre a constituição de átomos e moléculas, percebendo que a emissão de radiação eletromagnética emitida pelos elétrons em movimentos nos átomos poderia se relacionar com a energia discutida por Planck no contexto da Física atômica, sugerindo dois postulados que são descritos por Caruso e Oguri (2016, p. 383) como:

- (i) Um sistema atômico baseado no modelo de Rutherford só pode existir em determinados estados estacionários orbitais com energias definidas $\{E_1, E_2, E_3, \dots\}$ e pode ser parcialmente descrito pelas leis da Mecânica Clássica.
- (ii) A emissão ou absorção de radiação eletromagnética só ocorre durante a transição entre estados estacionários, tal que a frequência (ν) da radiação emitida ou absorvida é dada $\nu = \frac{|E_f - E_i|}{h}$, onde h é a constante de Planck e E_f e E_i são, respectivamente, os valores de energia nos dois estados envolvidos na transição. Ou seja, a energia (E) do fóton emitido ou absorvido é igual a $E = h\nu$.

Já Eisberg e Resnick (1994, p. 142-143) abordam o átomo de Bohr especificando os postulados com base no momento angular:

1. Um elétron em um átomo se move em uma órbita circular em torno do núcleo sob influência da atração colombiana entre o elétron e o núcleo, obedecendo às leis da mecânica clássica.
2. Em vez da infinidade de órbitas que seriam possíveis segundo a mecânica clássica, um elétron só pode se mover em uma órbita na qual seu momento angular orbital L é um múltiplo inteiro de \hbar (a constante de Planck dividida por 2). Sendo a quantização do momento angular de Bohr dado por $L = n\hbar$, sendo $n = 1, 2, 3, \dots$
3. Apesar de estar constantemente acelerado, um elétron que se move em uma dessas órbitas possíveis não emite radiação eletromagnética. Portanto, sua energia total E permanece constante.
4. É emitida radiação eletromagnética se um elétron, que se move inicialmente sobre uma órbita de energia total E_i , muda seu movimento descontinuamente de forma a se mover em uma órbita de energia total E_f . A frequência da radiação emitida ν é igual à quantidade $(E_i - E_f)$ dividida pela constante de Planck h , levando a frequência de um fóton de radiação eletromagnética dada por $\nu = \frac{(E_i - E_f)}{h}$.

Ambos os autores chegam à mesma conclusão: a radiação emitida ocorre quando os fótons obedecem à variação da energia obtida pelo deslocamento entre duas órbitas dos movimentos dos elétrons dos átomos. Niels Bohr propôs um modelo revolucionário para explicar a estrutura atômica, o qual se baseia na absorção e emissão de radiação por elétrons que só podem ocupar órbitas específicas nos átomos. Deslocando-se apenas em uma órbita, o elétron não emite radiação eletromagnética (esse é um postulado), correspondendo cada estado estacionário a um nível definido de energia. Assim, a transição eletrônica é capaz de emitir fótons quando um elétron realizar uma transição entre dois estados estacionários, de uma órbita mais externa a uma mais interna. A variação de energia cinética de rotação entre essas duas órbitas é o que é convertida em energia da radiação, emitindo um fóton cuja energia é igual à diferença de energia entre os dois níveis, seguindo a equação: $E = hf$ (Eisberg; Resnick, 1994).

Bohr ainda não sabia sobre a teoria da dualidade onda-partícula de de Broglie, mas mesmo sem saber, ele acabou postulando a quantização do momento angular das órbitas já obedecendo a essa dualidade: assim como o fóton, o elétron também pode ser descrito como uma onda. Uma partícula do elétron de momentum p deve então ser associada a uma onda com comprimento λ , através de $p = h/\lambda$ (42). Porém, o momento angular de uma órbita de raio r é

$L = pr = hr/\lambda$ (43), então, o comprimento da onda do elétron deve se relacionar ao raio da órbita como $L\lambda = hr$ (44). Acontece que o movimento circular em uma órbita possui um perímetro $2\pi r$, e a onda precisa *cab*er dentro deste perímetro. Sendo assim, o comprimento da onda, ou pelo menos um múltiplo n deste comprimento, precisa ter o tamanho desse perímetro, o que leva a $n\lambda = 2\pi r \rightarrow L = hr/\lambda = hr n/(2\pi r) \rightarrow L = n\hbar$ (45), como no postulado “2” da referência (Eisberg; Resnick, 1994) que mencionamos anteriormente.

Como as órbitas são quantizadas, a energia desses estados estacionários do átomo também é quantizada, ou seja, assume apenas valores discretos. Consequentemente, a emissão de radiação pelo átomo não é contínua, mas ocorre em “pacotes” discretos (denominados quanta). As transições eletrônicas explicam os espectros de linha observados experimentalmente, por exemplo, ao se fazer um experimento de difração de luz com uma lâmpada de gás. Assim, este modelo foi fundamental para o desenvolvimento da mecânica quântica e nossa compreensão atual da estrutura da matéria, estabelecendo uma ponte entre a física clássica e a física quântica (Eisberg; Resnick, 1994).

4.3.6 Emissão de radiação eletromagnética por um átomo de Bohr

Para determinarmos a emissão da radiação por elétrons em átomos de um gás (ou seja, em uma situação em que um átomo não interfere no outro), nos detemos nas definições de Eisberg e Resnick (1994). Supondo que os elétrons giram em uma órbita circular em torno do núcleo, considerando a massa do elétron completamente desprezível em comparação à massa do núcleo, e supondo que o núcleo permanece fixo em um determinado espaço, a condição de estabilidade mecânica do elétron em uma órbita de raio r é dada ao fazermos a força centrípeta ser a força de Coulomb entre elétron e próton:

$$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Ze^2}{r^2} = m \frac{v^2}{r}. \quad (46)$$

Associando o momento angular clássico ao momento angular quântico temos:

$$L_c = L_q \quad (47)$$

$$mvr = n\hbar \quad n = 1, 2, 3, \dots \quad (48)$$

Associando ambas as equações e aplicando as condições de quantização do momento angular, restringindo as órbitas circulares aos raios definidos pelos números quânticos, conseguiremos calcular a energia potencial para qualquer distância finita, integrando-se o trabalho que seria realizado pela força coulombiana que atua de r ao ∞ .

$$V = - \int_r^{\infty} \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} dr = - \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (49)$$

Considerando K a energia cinética do elétron, temos

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 2r} \quad (50)$$

Então, a energia total do elétron pode ser dada pela energia potencial e pela energia cinética

$$E = K + V = \frac{-Ze^2}{4\pi\epsilon_0 2r} = -K \quad (51)$$

Substituindo a energia com a quantização do momento angular, teremos que

$$E = \frac{mZ^2e^4}{(4\pi\epsilon_0)^2 2\hbar^2} \frac{1}{n^2} n = 1, 2, 3, \dots \quad (52)$$

Assim, a radiação eletromagnética é emitida quando o elétron sofre uma transição do estado quântico n_i para o estado quântico n_f . Ainda com base no quarto postulado de Bohr expresso por

$$\nu = \frac{E_f - E_i}{h} = \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \right)^2 \frac{mZ^2e^4}{4\pi\hbar^3} \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right), \quad (53)$$

Sendo essa a frequência da radiação emitida pelo fóton ao retornar do estado quântico n_f para o estado quântico n_i . As previsões do modelo de Bohr para um átomo de Hidrogênio, ou seja, para um átomo com apenas um elétron, então são:

1. O estado normal do átomo será o estado no qual o elétron tem a menor energia, isto é, o estado $n = 1$. Este é o chamado estado fundamental.
2. Em uma descarga elétrica, ou em algum outro processo, o átomo recebe energia devido a colisões etc. Isto significa que o elétron deve sofrer uma transição para um estado de maior energia, ou estado excitado.
3. Obedecendo à tendência natural de todos os sistemas físicos, o átomo vai emitir o excesso de energia e voltar ao estado fundamental. Isto ocorre por meio de uma série de transições nas quais o elétron cai para estados excitados de energias sucessivamente mais baixas, até atingir o estado fundamental. Em cada transição, é emitida radiação eletromagnética com um comprimento de onda que depende da energia perdida pelo elétron, isto é, dos dois números quânticos inicial e final.
4. Em muitos processos de excitação e desexcitação que acontecem durante uma medida de um espectro atômico, todas as possíveis transições ocorrem e é emitido o espectro completo. Os números de onda, ou os comprimentos de onda, do conjunto de linhas que constituem o espectro são dados pela equação acima, onde fazemos com que n_i e n_f com todos os valores inteiros possíveis (Eisberg; Resnick, 1994, p. 140).

Assim, com base na emissão de fótons na transição eletrônica, o modelo atômico de Bohr foi um avanço significativo na compreensão da estrutura dos átomos, o qual auxiliou na introdução das ideias de níveis discretos de energia para os elétrons. Com essa noção, foi possível desenvolver a Física do Estado Sólido, especialmente na operação de dispositivos semicondutores como LEDs e lasers. Logo analisaremos na sessão a seguir a física dos estados sólidos com base no funcionamento dos LEDs e lasers (Eisberg; Resnick, 1994).

4.4 Física do estado sólido

A Física do Estado Sólido é uma das áreas mais dinâmicas da física moderna. Ela está relacionada ao estudo das propriedades físicas e estruturais dos sólidos, focado principalmente na organização de arranjos cristalinos. Essa é uma disciplina que busca compreender as interações entre átomos e elétrons. Essa também busca determinar diversas características dos materiais, tais como condutividade elétrica, térmica, propriedades ópticas, magnéticas e mecânicas (Kittel, 2008).

O estudo dos sólidos advém dos estudos dos materiais, pois os materiais estão enraizados em nossa cultura. Analisá-los mais profundamente levou os cientistas a descobrirem sobre as suas diversas propriedades. Os primeiros humanos só tiveram acesso, apenas, a um número limitado de materiais, tais como a pedra, argila, madeira e peles, entre outros. Contudo com o advento das tecnologias avançadas, os humanos passaram a desenvolver dezenas de outros materiais para o desenvolvimento mais complexo da sociedade, tais como metais, plásticos, vidros, fibras, entre outros. Esse desenvolvimento levou ao desenvolvimento de dispositivos eletrônicos mais sofisticados baseados em materiais semicondutores (Callister; Rethwisch, 2018).

Assim, a eletrônica se tornou o ramo mais marcante do século XX. Rezende (2015) destaca que ela teria surgido em 1906 nos Estados Unidos, através de um dispositivo formado a partir de uma válvula tríodo, capaz de amplificar os sinais elétricos. Assim, essa evolução foi capaz de difundir informações à distância através de voz e música, por meio do rádio. Posteriormente, se desenvolveu a televisão, com imagens em movimento e os computadores que trouxeram diversas finalidades; porém, a fragilidade e o tamanho dessas primeiras válvulas de vidro era um problema a ser resolvido para expansão da eletrônica. A solução para este problema veio através do desenvolvimento dos transistores de semicondutores em 1957, criada por 3 físicos dos laboratórios da Bell Thephone, que estudavam sobre a condução eletrônica em semicondutores (Rezende, 2015).

A chamada “teoria das bandas de energia”, baseada na mecânica quântica, foi de suma importância para explicar a diferença entre materiais condutores, semicondutores e isolantes. Com isso a Física do Estado Sólido é capaz de explicar diversos fenômenos da eletrônica, entre eles a descoberta de dispositivos que inovaram a tecnologia, os quais moldam a vida contemporânea, tais como os transistores, LEDs, diodos e lasers (Rezende, 2015).

Nosso produto educacional buscou explicar o funcionamento dos LEDs e lasers; assim, abordaremos a seguir um pouco sobre as propriedades ópticas dos materiais, o conceito

de energia de *gap*, o conceito de bandas de energia, os tipos de semicondutores e os dispositivos semicondutores. Ao abordar sobre a matéria e a emissão de luz, ressaltamos o conceito de “poço quântico de potencial infinito” para enfim explicar o funcionamento do LED (Rezende, 2015).

Em seguida, abordamos sobre o laser - nesse tópico, buscamos explicar um pouco da história do laser, o Maser, a transição entre o Maser e o Laser, o primeiro laser e a emissão estimulada. Explicamos sobre o funcionamento do laser, suas características e os tipos de lasers (Rezende, 2015).

4.4.1 LED: Diodo emissor de luz

É um dispositivo que converte a energia elétrica em energia luminosa, a qual é chamada de luminescência. Este dispositivo tem em sua estrutura um fluxo de elétrons entre uma liga de materiais com junção p e n. Essa junção é explicada mais detalhadamente no estudo dos semicondutores que são a base da constituição dos LEDs. Isso se deve ao estudo das bandas de energia que existem nos materiais condutores, semicondutores e isolantes (Rezende, 2015).

4.4.1.1 Bandas de energia nos sólidos

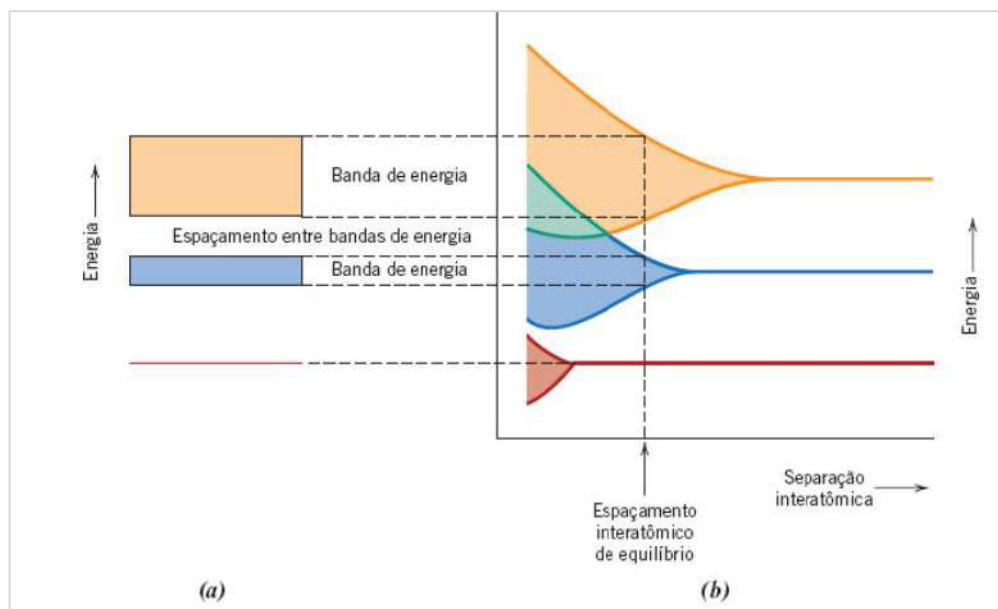
A condução eletrônica nos sólidos é a base da compreensão dos diversos dispositivos eletrônicos. A condutibilidade elétrica depende do número de elétrons disponíveis para participarem do processo de condução; assim, a compreensão de estados de elétrons, suas ocupações e configurações são estudados no conceito de banda de energia que está relacionado à relação entre as perturbações eletrônicas e as camadas ocupadas pelos elétrons nas ligações químicas (Callister; Rethwisch, 2018).

A formação de uma banda de energia pode ser entendida da seguinte forma: no modelo do átomo de Bohr, cada elétron do átomo estava em uma órbita quantizada, levando a uma energia quantizada. Um sólido, porém, não é um átomo isolado, e sim uma série de átomos interligados em uma rede cristalina. Neste caso, cada energia quantizada de cada átomo se desdobra em uma faixa de energias – isso é o que chamamos de uma “banda de energia”. Em outras palavras, as faixas (ou bandas) de energias de sólidos são o análogo, em sólidos, das energias quantizadas que vemos nos átomos. As camadas de valência de cada átomo, por exemplo, em um sólido, se unem e formam a chamada “banda de valência”, onde estão os elétrons mais energéticos do sólido. Obedecendo ao Princípio de Exclusão de Pauli, os elétrons são dotados de spin, com isso um elétron num átomo isolado tem estados quânticos

estacionários característicos por níveis de energias discretos e quantizados. Assim sendo, a banda de energia está ligada à distribuição eletrônica e ao orbital que um elétron pode ocupar em um nível quântico (Rezende, 2015).

O espaçamento entre bandas adjacentes não está disponível para a ocupação de elétrons em uma estrutura de bandas eletrônicas em sólidos, como demonstrado na Figura 7.

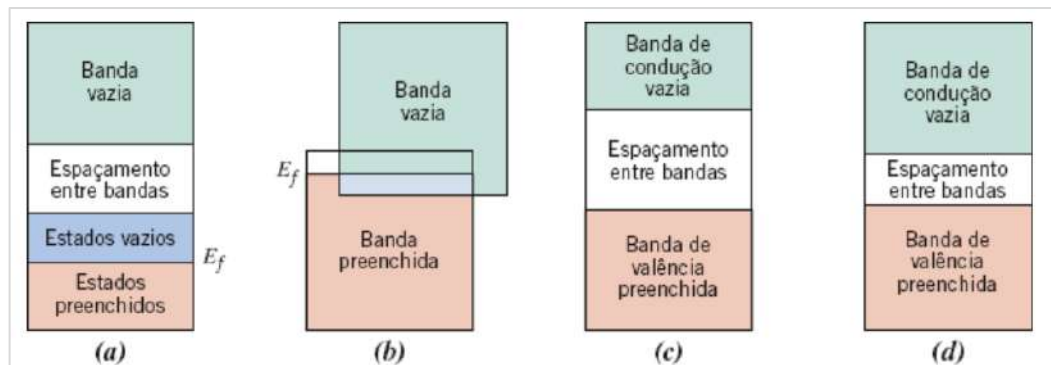
Figura 7 – Exemplo esquemático da estrutura de bandas em um sólido².



Fonte: Callister e Rethwisch (2018, p. 764).

As bandas de energia se encontram parcialmente preenchidas com elétrons, e a energia correspondente ao nível de energia mais elevado a 0 K chama-se energia de Fermi. De acordo com Callister e Rethwisch (2018), existem quatro tipos diferentes de bandas possíveis à 0 K, ilustrados na Figura 8.

² a) estrutura das bandas de energia; b) influência da separação interatômica na formação das bandas.

Figura 8 – Estrutura de bandas³

Fonte: Callister e Rethwisch (2018, p. 765).

Assim, a distância entre as bandas de energia é o que determina os tipos de materiais. A distância entre a banda de condução e a banda de valência o classifica como um condutor, um semicondutor ou um isolante. Callister e Rethwisch (2018) demonstram que a banda de valência está completamente preenchida com elétrons e pode ou não estar separada de uma banda de condução vazia por uma faixa de energias proibidas, a qual chamamos de “*gap*”. A energia correspondente ao estado preenchido mais elevado a 0 K é chamada de energia de Fermi, E_f .

Assim, o espaçamento entre as bandas de energia determina a especificidade do material: nos condutores o espaçamento entre as bandas é pouco ou quase inexistente, já nos semicondutores existe um espaçamento, mas a energia de Fermi para esses tem valores entre 0 e 2 ou 3 eV (essa definição é um tanto subjetiva – atualmente, considera-se ainda 3 eV como um *gap* de semicondutor. Materiais que possuem esse *gap*, por exemplo, são usados em dispositivos baseados em luz azul e ultravioleta). Já os isolantes têm espaço de energia maiores, como valores de maiores que 3 eV (Callister; Rethwisch, 2018).

4.4.1.2 Semicondutores

Semicondutores são materiais cuja condutividade não é tão elevada quanto nos metais, exibindo até mesmo *gap* de energia, como nos isolantes, porém, apresentam características elétricas especiais que os tornam úteis para a eletrônica. Suas características

³ (a) Estrutura de banda eletrônica encontrada em metais como o cobre, em que existem, na mesma banda, estados eletrônicos disponíveis acima dos estados preenchidos e adjacentes a esses estados preenchidos. (b) Estrutura de banda eletrônica de metais como o magnésio, em que existe uma superposição das bandas mais externas, preenchidas e vazias. (c) Estrutura de banda eletrônica característica dos isolantes; a banda de valência preenchida está separada da banda de condução vazia por um espaçamento entre bandas relativamente grandes (> 2 eV). (d) Estrutura de banda eletrônica encontrada nos semicondutores, a mesma exibida pelos isolantes, exceto pelo fato de que o espaçamento entre bandas é relativamente estreito (< 2 eV).

estão relacionadas a presença de impurezas e de um *gap* de energia não muito alto. Assim os semicondutores que não apresentam impurezas são classificados como intrínsecos, enquanto aqueles que apresentam impurezas são classificados como extrínsecos (Callister; Rethwisch, 2018).

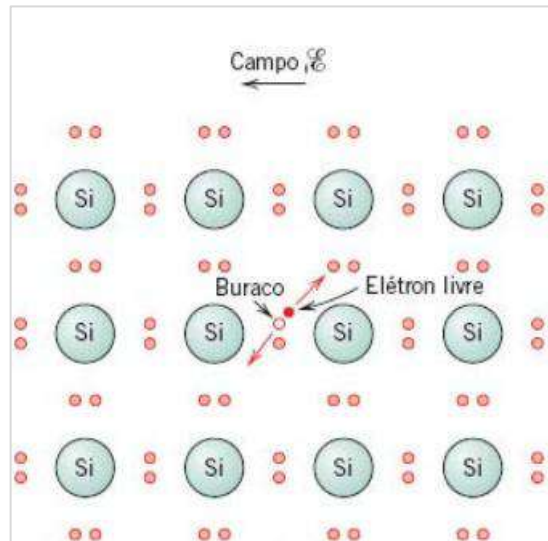
4.4.1.2.1 Semicondutores intrínsecos

São caracterizados por conter um espaçamento entre as bandas eletrônicas geralmente menor que 2 ou 3 eV a 0 K. Neles, a banda de valência está completamente preenchida, enquanto a banda de condução encontra-se vazia. O silício (Si) e o germânio (Ge) são os dois semicondutores mais elementares com energias de espaçamento (*gap*) entre bandas de aproximadamente 1,1 eV e 0,7 eV, respectivamente. Eles pertencem ao Grupo IVA da tabela periódica. Outros semicondutores compostos também possuem comportamentos intrínsecos, tais como os elementos formados da ligação entre os Grupos IIIA e VA, como o arseneto de gálio (GaAs) e o antimoneto de índio (InSb), que são chamados de compostos III-V. Outros compostos constituídos pelos elementos dos Grupos IIB e VIA que também apresentam comportamento semicondutor são o sulfeto de cádmio (CdS) e o telureto de zinco (ZnTe) (Callister; Rethwisch, 2018).

Quando excitados, os elétrons da banda de condução que resultam de ligações covalentes, deixam um estado eletrônico vazio na banda de valência e a posição desse elétron ausente na rede cristalina pode ser considerada como se o elétron estivesse se movendo da camada de valência para preencher a ligação incompleta, com isso o processo gera a ausência de um elétron na banda de valência, ocasionando a existência de uma partícula carregada positivamente, a qual foi chamada de buraco (Callister; Rethwisch, 2018), como ilustrado na Figura 9.

Figura 9 – Existência do buraco no processo de ligação atômica em um cristal de Si. O buraco se move na direção oposta à dos elétrons quando aplicamos um campo elétrico ao sistema.

Assim, o buraco acaba se comportando como uma partícula de carga positiva



Fonte: Callister e Rethwisch (2018, p. 774).

A condutividade elétrica de um semiconductor intrínseco depende da relação entre às concentrações de elétrons/buracos e as mobilidades dos elétrons/buracos. Callister e Rethwisch (2018) mostram que essa condutividade pode ser dada por:

$$\sigma = n|e|\mu_e + p|e|\mu_b \quad (54)$$

Onde p é o número de buracos por metro cúbico, μ_b é a mobilidade dos buracos e μ_e é sempre melhor para semicondutores. Pois, para os semicondutores intrínsecos, a cada elétron promovido para passar da banda de valência para a banda de condução, “deixa para trás” um buraco na banda de valência e um elétron livre no material (Callister; Rethwisch, 2018).

4.4.1.2.2 Semicondutores extrínsecos

Os semicondutores extrínsecos são aqueles em que o comportamento elétrico é determinado pelas impurezas, ou seja, a presença, mesmo em concentrações mínimas de impurezas, introduz um excesso de elétrons ou de buracos. Também chamados de semicondutores dopados, esses têm mais números de elétrons do que buracos, ou vice-versa, por meio da dopagem (Rezende, 2015).

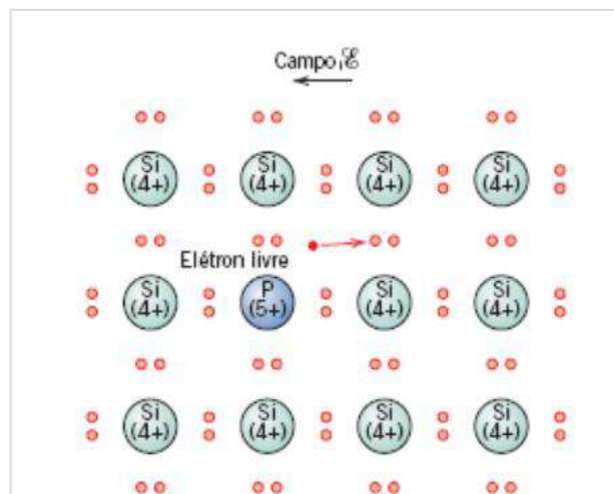
Aqueles cuja predominância é maior de elétrons são chamados tipo n , ou seja, negativos, enquanto aqueles cuja predominância tem maior concentração de buracos são chamados tipo p , ou seja, positivos. Os semicondutores dopados têm sua condutividade variável

de acordo com a temperatura, sendo esses os mais utilizados para a fabricação dos materiais eletrônicos (Rezende, 2015).

4.4.1.2.2.1 Semicondutores extrínsecos Tipo N

Alguns semicondutores extrínsecos do tipo n têm a impureza de átomos da coluna do Grupo VA da tabela periódica (por exemplo, P, As e Sb), sendo mais comum o fósforo, que se liga com quatro dos cinco elétrons de valência desses átomos de impurezas que podem participar da ligação, pois existem apenas quatro ligações possíveis com vizinhos. Assim, um dos elétrons fica livre, sem formar ligações, fracamente preso à região em torno do átomo de impureza, por uma atração eletrostática fraca. A energia de ligação desse elétron é relativamente pequena, da ordem de 0,01 eV, com isso, ele é removido com facilidade do átomo de impureza e se torna um elétron livre ou um elétron de condução como apresentado na Figura 10.

Figura 10 – Elétron livre devido à impureza de Fósforo em um cristal de Silício



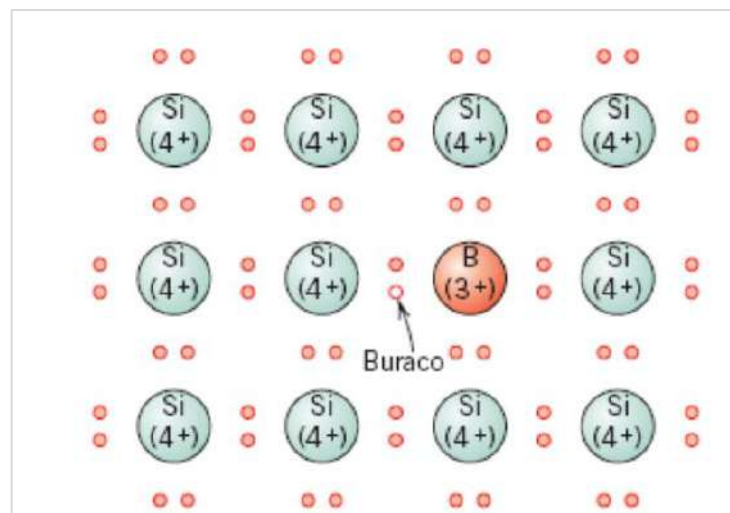
Fonte: Callister e Rethwisch (2018, p. 775).

Dentro da banda de condução, a energia de ligação do elétron corresponde à energia necessária para excitar o elétron, ou seja, o estado da impureza permite que, em cada evento de excitação, o semiconductor dopado forneça um único elétron para a banda de condução. Com isso, essa impureza desse tipo é chamada de doadora, pois cada elétron doado é excitado a partir do nível da impureza.

4.4.1.2.2 Semicondutores extrínsecos Tipo P

Os Semicondutores Extrínsecos do Tipo (P) são produzidos pela adição de átomos trivalentes, tais como alumínio, boro e gálio ao silício ou ao germânio, ou seja, elementos do Grupo IIIA da tabela periódica. A deficiência de um elétron aparece durante as ligações covalentes ao redor dos átomos ligantes e essa deficiência pode ser vista como um buraco que está fracamente ligado ao átomo de impureza, pois, durante um processo de excitação, o elétron e o buraco trocam de posição. A Figura 11, reproduzida de Callister e Rethwisch (2018), demonstra um buraco criado na adição de uma impureza.

Figura 11 – Apresentação do buraco no semiconductor Tipo P



Fonte: Callister e Rethwisch (2018, p. 777).

O conceito de buraco se deve a propriedade de orbitais vazios em bandas cheias, os quais são chamados, ou seja, significa que numa banda cheia a soma de todos os pares orbitais será igual a zero, porém ao adicionar uma impureza à um semiconductor como exemplo o silício, passa a existir um par de orbital incompleto gerando a existência de um buraco, que significa um elétron em falta, permitindo assim que essa ligação possa se juntar à outro semiconductor com elétrons livre para a coexistência de ambos na natureza. Com isso, esse tipo transição é chamado de receptora, pois o buraco criado na ligação da impureza no semiconductor cria um buraco no espaçamento entre bandas (Callister; Rethwisch, 2018).

4.4.1.3 Propriedades optoeletrônicas

As propriedades ópticas dos materiais estão intrinsecamente ligadas à forma como eles respondem à exposição a radiações externas. Quando um material é exposto a essa radiação, ele pode reagir de diversas maneiras, como emitindo, absorvendo, refletindo ou alterando a polarização da luz. Rezende (2015) explica que o estudo da interação entre matéria e luz teve um avanço significativo com os experimentos de Newton, o qual utilizou um prisma de vidro para demonstrar que a luz se desvia entre as cores vermelha e violeta. Atualmente, sabemos que a faixa visível da luz varia entre comprimentos de onda de aproximadamente 400nm (violeta) e 700nm (vermelho) (Rezende, 2015).

A região visível do espectro eletromagnético possui comprimentos de onda variando de 400 a 700 nm, correspondendo a fótons com energias entre 1,7 e 3,1 eV. Esses valores estão associados à energia de *gap* em diversos semicondutores, além de estarem relacionados às transições eletrônicas em uma variedade de átomos. Com base nessas descobertas, foi possível desenvolver a optoeletrônica, possibilitando a criação de diversos dispositivos que convertem luz em corrente elétrica e vice-versa (Kittel, 2008).

Os cálculos quânticos dos estados eletrônicos e das energias em sólidos podem ser realizados por meio de uma aproximação que considera os núcleos dos átomos como fixos em posições conhecidas na rede cristalina. Isso gera um potencial periódico ao qual o elétron está submetido, levando à equação de Schrödinger, cujas soluções geram as bandas de energia. Assim, os estados eletrônicos de um átomo são definidos em termos de sua banda de energia (Fox, 2001).

Em um modelo clássico, o elétron poderia realizar transições entre quaisquer energias, independente de que energia potencial foi aplicada a este elétron. No entanto, na mecânica quântica, é possível que o elétron só possa ocupar estados discretos de energia: considere, por exemplo, uma situação em que o elétron está situado em um poço de potencial infinito. Em um poço de potencial infinito, um elétron encontra-se restrito a uma região específica onde a energia potencial é infinita no exterior do poço e zero em seu interior.

Lembre que este elétron de momentum p precisa também poder ser descrito por uma onda de comprimento λ tal que $p = h/\lambda$. Assim como no átomo de Bohr que discutimos antes, onde a onda precisava “caber” no perímetro da órbita atômica, aqui, a onda do elétron precisa caber na região interna do poço quadrado, que tem largura a . Assim, o comprimento de onda precisa ser $a = n\lambda$. Mas a energia precisa ser $E = p^2/2m$, portanto, $E = \hbar^2 n^2 \pi^2 / 2ma^2$, ou seja, as energias de um poço quadrado são discretas, proporcionais a um

índice n^2 . Note que isso já é claramente diferente do caso dos átomos, onde os níveis de energia eram discretos, mas dependiam *inversamente* de n^2 .

Um poço quadrado é uma boa aproximação para o caso onde temos uma heterojunção entre materiais semicondutores com *gap* de energia diferentes. É assim que a indústria de dispositivos semicondutores controla a energia dos fótons emitidos por este sistema, pois no caso do poço quadrado, essa energia depende da largura a do poço, ou seja, da largura do bloco de semicondutor. Quando um elétron no poço quadrado absorve energia suficiente, ele tem a capacidade de saltar para níveis de energia mais elevados. Ao retornar ao seu estado fundamental, o elétron pode emitir luz, cuja frequência está diretamente relacionada à diferença de energia entre os níveis (Kittel, 2008).

4.4.1.4 A luminescência e a interação radiação-matéria

O processo de absorção e emissão de luz em isolantes e semicondutores está associado à transição eletrônica entre os níveis discretos de energia entre bandas de condução e valência, ou em processos de transição interna em uma dessas bandas (neste caso, com menos energia, ou seja, com fótons de frequência mais baixa).

Nos cristais, o tratamento quântico da interação radiação-matéria deve levar em conta o fato de que o elétron é descrito por funções de onda com vetor de onda \vec{k} . A energia $E(k)$ de bandas abordadas por Rezende (2015) no esquema de zona de Brillouin, o qual mostra que as transições eletrônicas entre bandas devem conservar energia e momentum, com isso as transições produzidas pelos fótons de energia $E_\gamma = \hbar\omega$ e momentum \vec{k} requerem $E_f - E_i = E_\gamma$ e $\vec{k}_f - \vec{k}_i = \vec{k}$, onde E_f e E_i são as energias dos elétrons nos estados final e inicial, \vec{k}_i e \vec{k}_f correspondem aos seus vetores de ondas e ω é a frequência e \vec{k} o comprimento de onda do fóton. Quando $(E_f < E_i)$ o fóton foi emitido e se $(E_f > E_i)$ o fóton foi absorvido. A transição de energia mínima para que aconteça a transição com emissão ou absorção de fótons em um semicondutor ocorre quando $k_f = k_i = 0$, em que a energia de *gap* é dada por $E_g = \hbar\omega_g$.

A luminescência, que é a emissão de luz dos semicondutores, acontece através da recombinação entre os pares elétron-buraco, que está relacionada à energia de *gap* diretos (d) e indiretos (i) entre a banda de condução e a banda de valência. O caso indireto é uma situação onde o estado de valência não possui o mesmo momentum do estado de condução – desta forma, para conservar momentum, a transição de absorção de luz precisa da ajuda de algum agente externo – em geral, a vibração de núcleos atômicos do sólido devido a temperatura, por

exemplo. No Quadro 4, fornecemos energias de *gap* e o comprimento de onda de alguns semicondutores usados comumente para fabricação de emissores de luz.

Quadro 4 – Indicativo de gap direto e indireto com energia de gap e comprimento de onda para vários materiais

Semicondutor	Gap	$E_g (eV)$	$\lambda_g (\mu m)$
Si	i	1,12	1,11
Ge	i	0,67	1,88
AlN	i	5,90	0,21
AlAs	i	2,16	0,57
GaN	d	3,40	0,36
GaP	i	2,26	0,55
GaAs	d	1,43	0,86
InP	d	1,35	0,92
InAs	d	0,35	3,54
InSb	d	0,18	6,87
CdS	d	2,53	0,49
CdTe	d	1,53	0,83

Fonte: Adaptado de Kittel (2008).

4.4.1.5 Dispositivo semicondutores optoeletrônicos

Semicondutores optoeletrônicos são dispositivos que convertem luz em sinal elétrico. Eles envolvem, por exemplo, os fotodetectores, os quais são capazes de detectar os fótons da radiação de luz em células fotoelétricas que são a base para a produção de fotodiodos e foto-resistores de semicondutores. Sensores de imagens CCD, usados em câmeras fotográficas digitais, como as dos nossos celulares, também são fotodetectores de imagens importantes para a optoeletrônica.

Foto-resistores estão associados à fotocondutividade, em que a condutividade do material varia de acordo com a intensidade da luz que incide sobre o dispositivo. Células de fotodeteção também são chamadas de Light Dependence Resistor (LDR). São placas de semicondutores intrínsecos com a adição de pequenas impurezas, as quais, ao serem iluminadas, criam pares elétrons-buracos (Rezende, 2015).

Fotodiodos são detectores de radiação, nos quais os sinais elétricos são produzidos a partir de pares elétrons-buracos, em que a absorção de fótons gera uma depleção na junção de semicondutores do tipo (n) e do tipo (p). Nesse, os elétrons livres do semicondutor do tipo n seguem para o buraco do semicondutor do tipo p ao receber energia e esse movimento gera fótons, ou quando esses são iluminados, esse gera uma corrente elétrica como no efeito fotovoltaico e opera com o circuito aberto (Rezende, 2015).

Células solares também são fotodiodos com grandes áreas de exposição, os quais têm a função de oferecer energia a uma carga externa. Essa converte energia luminosa em energia elétrica. Essas são normalmente formadas de silício cristalino coberto com uma fina camada de um semicondutor de junção p-n, no qual a camada do tipo (n) é de aproximadamente 10^{18} cm^{-3} e a camada do substrato do tipo (p) entre 10^{15} cm^{-3} e 10^{16} cm^{-3} . Essa distribuição da camada do tipo (n) deixa passar uma radiação incidente do largo espectro de frequência, permitindo que a voltagem se distribua em toda a área do painel (Rezende, 2015).

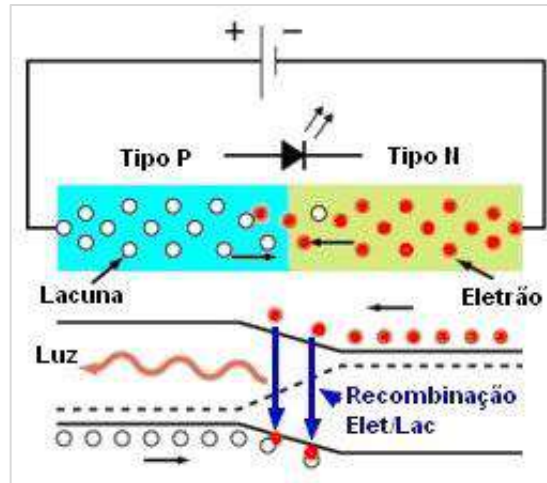
Sensores de imagens CCD são dispositivos de acoplamento de cargas, foram desenvolvidos pelos Laboratórios Bell em 1969. São pacotes de cargas que se movem para a unidade vizinha ao longo da cadeia em uma sequência determinadas por pulsos do relógio de comando. São constituídos por um conjunto de capacitores de Metal-Isolante-Semicondutor (MIS) fabricados em uma única pastilha de semicondutor, como num circuito integrado, o qual forma uma rede de duas dimensões. Cada capacitor tem uma dimensão de $10 \times 10 \mu\text{m}^2$ que corresponde a um pixel de imagem. A imagem é formada pela área do dispositivo por meio de um sistema óptico na câmera. Nesses, os fótons de energia maiores que a energia de gap criam uma região de superfície do semicondutor de pares de elétrons-buracos relacionados com a taxa de intensidade da luz em cada pixel (Rezende, 2015).

O Diodo Emissor de Luz (LED) é um dispositivo capaz de converter sinal elétrico em energia luminosa. Possuem diversas aplicações, tais como indicadores de equipamentos elétricos, formação de imagens a partir de sinais eletrônicos, comunicadores ópticos através da conversão de sinais elétricos em sinais luminosos, os quais podem se propagar através de fibras ópticas e convertidos em informações nos fotodetectores em sinais (Rezende, 2015).

4.4.1.6 O funcionamento do LED

Os LEDs operam baseados em processos quânticos com emissão de radiação, o qual ficou conhecido como luminescência. Seu funcionamento é baseado numa junção p-n, em que os elétrons injetados do lado (n) e os buracos do lado (p) se movem no sentido oposto da região de junção entre os semicondutores do tipo n e o semicondutor do tipo p, essa região é conhecida como região de depleção como podemos observar na Figura 12. Os LEDs são amplamente utilizados no cotidiano, pois a emissão de luz produzida por esses dispositivos está na frequência em que nossos olhos nos permitem percebê-los (Rezende, 2015).

Figura 12 – Esquema ilustrando o funcionamento de um LED



Fonte: Google Imagens.

A recombinação entre os pares buraco-elétrons, os buracos injetados do lado (n) recombinam-se com os elétrons que estão chegando da região de depleção enquanto os elétrons injetados do lado (p) se recombinam com os buracos que lá se encontram. Se o semiconductor tiver *gap* direto, o circuito passa a produzir fótons e fônons (calor), porém, se o condutor for de *gap* indireto, quase não há emissão de luz, devido à necessidade de conservação de momentum, como já comentamos anteriormente. Ou seja, para que aconteça emissão de luz eficiente, os semicondutores utilizados devem ser de *gap* direto (Rezende, 2015).

Para a produção dos LEDs, são usadas ligas ternárias formadas a partir do Arseneto de Gálio (GaAs), pois esse tem *gap* direto, o qual permite a emissão de fótons. As junções p-n desses têm mais eficiência de luminescência em transições interbanda, as quais ocorrem em um comprimento de onda de aproximadamente $0,87\mu\text{m}$, o qual corresponde à radiação do infravermelho. Algumas ligas ternárias são constituídas a partir do Arseneto de Gálio, que podem ser organizadas com base nessa organização: $\text{Ga}_x\text{Al}_{1-x}\text{As}$ e $\text{Ga}_x\text{As}_{1-x}\text{P}_x$.

A cor do LED depende do material semiconductor que está acoplado em sua estrutura. A emissão da cor está relacionada aos compostos, tais como: LED Vermelho: Fosforeto de Gálio (GaP); Fosforeto de Gálio e arsênio (GaAsP). LED Amarelo e Verde: Fosforeto de Gálio (GaP); Fosforeto de Índio, Gálio e Alumínio (InGaAlP). LED infravermelho: Arseneto de Gálio (GaAs); Arseneto de Fosforeto de Alumínio e Gálio (GaAlAs).

A Figura 13 ilustra uma tabela contendo materiais e as cores dos LEDs produzidos com eles.

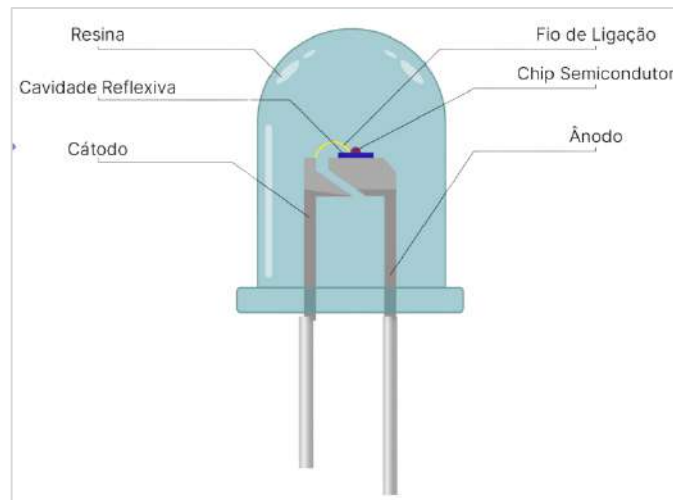
Figura 13 – Cores de LEDs e sua dependência sobre o comprimento de onda, tensão aplicada e materiais que os compõem

Comp. Onda (nm)	Cor	Tensão Fwd (Vf@20ma)	Intensidade 5mm LEDs	Ang°	LED Material
940	Infravermelho	1.5	16mW @50mA	15°	GaAlAs/GaAs
880	Infravermelho	1.7	18mW @50mA	15°	GaAlAs/GaAs
850	Infravermelho	1.7	26mW @50mA	15°	GaAlAs/GaAs
660	Ultra Red	1.8	2000mcd @50mA	15°	GaAlAs/GaAs
635	High Efficiency Red	2.0	200mcd @20mA	15°	GaAsP/GaP
633	Super Red	2.2	3500mcd @20mA	15°	InGaAlP
620	Super Orange	2.2	4500mcd @20mA	15°	InGaAlP
612	Super Orange	2.2	6500mcd @20mA	15°	InGaAlP
605	Orange	2.1	160mcd @20mA	15°	GaAsP/GaP
595	Super Yellow	2.2	5500mcd @20mA	15°	InGaAlP
592	Super Pure Yellow	2.1	7000mcd @20mA	15°	InGaAlP
585	Yellow	2.1	100mcd @20mA	15°	GaAsP/GaP
4500K	"Incandescent" White	3.6	2000mcd @20mA	20°	SiC/GaN
6500K	Pale White	3.6	4000mcd @20mA	20°	SiC/GaN
8000K	Cool White	3.6	6000mcd @20mA	20°	SiC/GaN
574	Super Lime Yellow	2.4	1000mcd @20mA	15°	InGaAlP
570	Super Lime Green	2.0	1000mcd @20mA	15°	InGaAlP
565	High Efficiency Green	2.1	200mcd @20mA	15°	GaP/GaP
560	Super Pure Green	2.1	350mcd @20mA	15°	InGaAlP
555	Pure Green	2.1	80mcd @20mA	15°	GaP/GaP
525	Aqua Green	3.5	10,000mcd @20mA	15°	SiC/GaN
505	Blue Green	3.5	2000mcd @20mA	45°	SiC/GaN
470	Super Blue	3.6	3000mcd @20mA	15°	SiC/GaN
430	Ultra Blue	3.8	100mcd @20mA	15°	SiC/GaN

Fonte: Google Imagens.

A estrutura do LED é formada por um cátodo e um ânodo em que são conectados por um fio de ligação. Conectado ao catodo, está ligado a um chip semicondutor que, por sua vez, está acoplado em uma cavidade reflexiva sobre o anodo. Todo o sistema está encapsulado com uma resina que auxilia na ampliação da luz de radiação emitida quando o LED é ligado em um circuito elétrico, como podemos ver no esquema ilustrado na Figura 14.

Figura 14 – Esquema da estrutura de um LED



Fonte: Google Imagens.

4.4.2 Laser

O laser é um tipo específico de radiação luminosa que resulta da emissão de luz devido a transições entre estados eletrônicos quantizados em átomos ou moléculas estimuladas pelo campo eletromagnético. Nessa radiação, os campos dos fótons estimulados são estimulados com características coerentes, ou seja, os fótons do laser saem todos com as mesmas características de fase, frequência e comprimento de onda. Essa característica está relacionada aos feixes se manterem sempre paralelos durante toda a emissão. Outra característica é a de que estes feixes são quase perfeitamente monocromáticos, ou seja, tem a mesma cor durante toda a emissão (Rezende, 2015). Isso difere por exemplo da luz de uma lâmpada, que costuma ter uma combinação de frequências gerando, assim, luzes esbranquiçadas.

A descoberta do laser passa pela compreensão da natureza da luz e de sua relação com a transição entre níveis quantizados de elétrons: seu nome está relacionado às siglas do nome Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (Laser), que significa amplificação de luz estimulada por radiação. Ou seja, a luz emitida por um laser é amplificada através do estímulo de fótons, devido à estrutura interna que permite o aumento de fótons. Contudo, o laser, que é uma luz que, em muitos casos, está na radiação do visível, tem sua história associada à descoberta inicialmente do MASER, que é a amplificação de micro-ondas estimulada por radiação (Rezende, 2015).

Antes de dar os detalhes específicos sobre o laser, vamos primeiramente explicar em poucas palavras porque a origem da luz no laser difere da origem em LEDs, lâmpadas

florescentes e lâmpadas incandescentes. Tanto quanto nos lasers, a luz de LEDs e de lâmpadas *florescentes* (não a de incandescentes!) também é originada nas trocas de energia entre elétrons de níveis quantizados, seja nas bandas dos sólidos (em LEDs), seja nos níveis dos átomos do gás usado na lâmpada fluorescente.

Acontece que a mecânica quântica prevê: (i) a absorção de energia de um fóton pelo elétron, indo de um nível quantizado de energia mais baixa para um de energia mais alta; (ii) a emissão de um fóton quando um elétron perde energia de um nível mais alto para um mais baixo (o que explica os LEDs e lâmpadas que mencionamos), mas também (iii) a *emissão estimulada de luz*, quando a pré-existência de um fóton no sistema influencia um elétron de energia mais alta a perder energia para um nível mais baixo e emitir um fóton a mais com a mesma frequência do anterior. Sendo assim, se todos os elétrons estiverem em um nível de energia alto, o fóton emitido pela perda de energia de cada elétron pode ser usado para estimular a perda de energia do elétron seguinte, num efeito de avalanche – isso é o que produz a luz do laser. Mas como garantir que todos os elétrons estão com energia alta? Produzindo um efeito de *inversão de população*. A seguir, iremos detalhar como o problema a inversão de população foi resolvido de forma engenhosa nos vários dispositivos de laser que conhecemos.

4.4.2.1 História do laser

Em 1951, Charles Townes teve a ideia de um maser, através de um oscilador que gerava radiação de micro-ondas com equipamento magnéton. A criação do primeiro maser, em 1954, estimulou o desenvolvimento de outros tipos de masers, particularmente do maser de três níveis em estado sólido. Na criação desse dispositivo, já se trabalhou com a emissão estimulada de radiação por um sistema atômico, com a criação de uma inversão de população de um feixe molecular e com a radiação de retorno com o uso de um ressonador (Renk, 2017).

Em 1958, Schawlow e Townes publicaram um artigo sobre “masers infravermelhos e ópticos”. Neste artigo, Schawlow e Townes descreveram as condições de operação de um maser e iniciaram a busca para a construção de um laser. Maiman foi o primeiro a operar um laser, o laser de rubi, em maio de 1960 e, no final do ano, Javan relatou a operação de um laser de hélio-neônio (que, por sinal, é o tipo de laser vermelho que usamos para apontar o quadro em apresentações, por exemplo). O pedido de patente de laser foi fornecido em meados de 1958 pela Bell Laboratories, com Schawlow e Townes como inventores pela Columbia University, o que levou à primeira patente americana de um laser, emitida em 1960 (Rezende, 2015).

A base teórica do laser foi a “velha mecânica quântica” desenvolvida entre 1900 e 1917 por Planck, Bohr e Einstein. Os principais resultados da “velha mecânica quântica” obtiveram uma consequente fundamentação da mecânica quântica. Contudo, durou cerca de 40 anos após as primeiras definições da mecânica quântica até que a tecnologia maser e o laser estivessem operando. Apesar da criação do primeiro laser em 1960, Charles Townes, Nicolay Basov, Aleksandr Prokhorov continuaram trabalhando nessa área e desenvolveram trabalhos fundamentais no campo da eletrônica quântica, os quais levaram à construção, em 1964, de osciladores e amplificadores baseados no princípio maser-laser. Em 1966, Alfred Kastler desenvolveu o conceito de bombeamento óptico (Bretenaker; Treps, 2014).

Charles Townes declara que, em 1924, Richard Tolman escreveu:

As moléculas no estado quântico superior podem retornar ao estado quântico inferior de tal forma que reforcem o feixe primário por absorção negativa – será apontado que para experimentos de absorção, como geralmente realizados, a quantidade de absorção negativa pode ser negligenciada (Bretenaker; Treps, 2014, p. 52).

Contudo, foi apenas após 30 anos que a utilidade da amplificação por “absorção negativa” foi realmente reconhecida. Este avanço foi fundamental para demonstrar a emissão estimulada, prevista pela teoria quântica de Albert Einstein décadas antes, e que essas poderiam ser usadas para criar feixes de radiação coerentes e amplificados.

4.4.2.2 O Maser

Charles Townes, estudando espectroscopia de micro-ondas, tentou durante muito tempo fazer átomos amplificarem oscilações de micro-ondas. Em abril de 1954, Charles, junto com seus alunos conseguiu criar um oscilador de micro-ondas, o qual denominaram o amplificador de Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation (MASER), que em português significa “Amplificação de Micro-ondas por Emissão Estimulada de Radiação” (Bretenaker; Treps, 2014).

Após sua descoberta, “[...] o Maser tornou-se um campo muito quente” (Bretenaker; Treps, 2014, p. 35). Começou-se então uma disputa para conseguir chegar a um amplificador óptico, ou seja, uma forma de amplificar por radiação a luz visível no espectro eletromagnético. O objetivo era manter a luz visível emitindo fótons e, com isso, amplificando-se através da estimulação dos elétrons em átomos (Bretenaker; Treps, 2014). Charlie chamou inicialmente esse fenômeno de “máscaras óticas” e ofereceu a patente a Bell Labs, que rejeitou a proposta

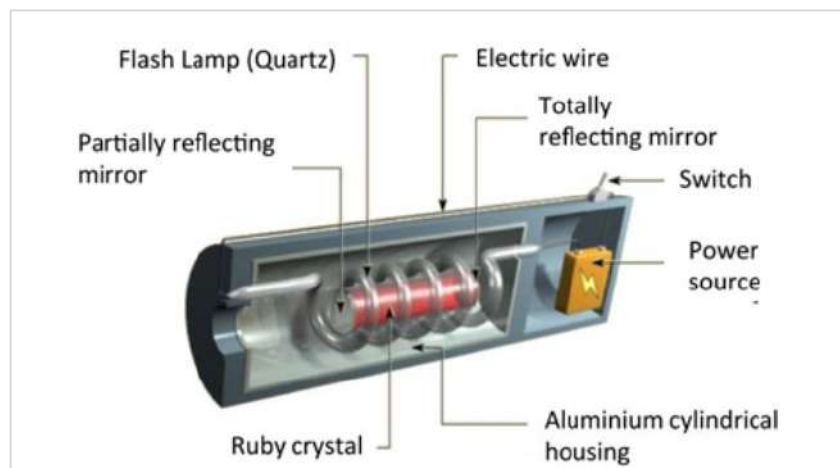
de patente da descoberta, pois não acreditavam que a luz tinha valor para as comunicações, e por isso eles não estavam interessados.

Atualmente, a luz laser tem uma grande valia para a comunicação, proporcionando um meio altamente eficiente e confiável para transferência de dados, transmitindo informações em longas distâncias com mínima dispersão, tornando-a ideal para comunicações ópticas de alta velocidade, como fibra óptica, comunicação via satélite, entre outras aplicações (Bretenaker; Treps, 2014).

4.4.2.3 O primeiro laser e a emissão estimulada

Criado em 1960, foi Theodore Maiman, que trabalhando nos Laboratórios de Pesquisa Hughes, conseguiu criar o primeiro laser de rubi. Utilizando um cristal de rubi, que é composto por Dióxido de Alumínio (Al_2O_3) como meio de ganho e uma lâmpada de flash para bombear energia para o sistema, Maiman produziu um feixe de luz coerente, intenso e colimado, como podemos observar na figura 15. Este foi o nascimento do laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) (Bretenaker; Treps, 2014).

Figura 15 – Esquema do primeiro laser de rubi



Fonte: Bretenaker e Treps (2014, p. 29).

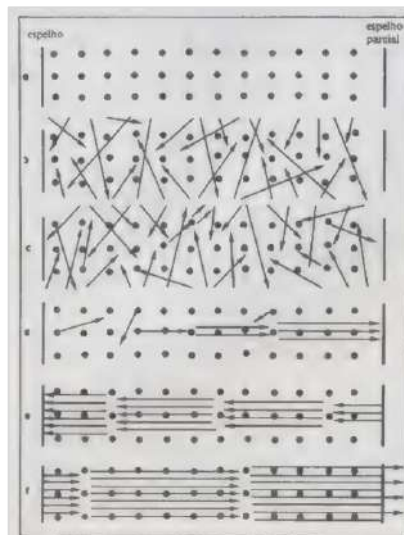
O LASER, assim como o MASER, é simplesmente um oscilador de elétrons do átomo. Essencialmente, esses convertem a energia da fonte de alimentação em energia na frequência de oscilação. O átomo excitado que emite luz é em si um oscilador óptico. Quando o elétron passa por uma transição entre dois níveis de energia com diferença de energia ($\Delta E = h \cdot \nu$) ele produz um fóton na frequência ν onde h é a constante de Planck (Matzner, 1983).

4.4.2.4 Funcionamento do laser

O meio ativo é considerado o meio de ganho, no qual os fótons interagem através de colisões com os átomos constituintes desse material e amplificam o número de fótons, permitindo que esses consigam aumentar a energia até que atravessem o espelho semitransparente emitindo luz laser. Assim como o rubi em estado sólido é um meio ativo, existem outros como o gás hélio-neônio (laser de hélio-neônio) ou materiais semicondutores (lasers de diodo), entre outros (Renk, 2017).

Baseada no conceito de amplificação da luz por emissão estimulada da radiação de fóton após centenas de reflexões, o dispositivo laser começa esse processo fazendo um alinhamento da luz emitida, ou seja, os fótons emitidos pela luz dentro do dispositivo são amplificados através do realinhamento desses em um meio ativo constituído pela presença de dois espelhos colocados em paralelo, no qual um fóton após centenas de reflexões se alinha de forma que esse fóton produz outro fóton, amplificando a luz (Matzner, 1983), como ilustrado na Figura 16.

Figura 16 – Esquema ilustrando as sucessivas reflexões até o alinhamento dos fótons na cavidade ressonante



Fonte: Matzner (1983, p. 21).

O bombeamento para a emissão contínua dos fótons é fornecido pela fonte de energia ao meio ativo para excitar os elétrons constituintes dos átomos que formam o meio ativo. Podem ser realizados através de lâmpadas flashes, descargas elétricas como no laser a gás ou descargas elétricas como nos lasers de diodo. A fonte de energia excita os elétrons dos

átomos do meio ativo, elevando-os a estados de alta energia. Este processo cria uma população de átomos ou moléculas excitadas (Renk, 2017), que leva ao que anteriormente chamamos aqui de “inversão de população”.

A cavidade óptica é o sistema principal para a amplificação da luz laser, pois é formada a partir de dois espelhos paralelos que permitem aos fótons refletirem, incidindo novamente no meio ativo e amplificando a emissão de fótons. O espelho frontal, ao contrário do traseiro, não é totalmente refletor e deixa passar uma porcentagem de luz de aproximadamente 80% (Matzner, 1983).

Essa cavidade funciona como um ressonador, o qual tem a tarefa de armazenar um campo eletromagnético coerente e permitir que o campo interaja com o meio ativo e o meio ativo experimenta feedback do campo coerente. Os fótons gerados pela emissão estimulada são refletidos pelos espelhos do sistema de ressonância, passando repetidamente pelo meio ativo e estimulando a emissão de mais fótons coerentes. Esse processo amplifica a luz dentro da cavidade. O feixe de luz amplificado se torna suficientemente intenso. Uma parte desse feixe passa pelo espelho parcialmente refletivo, emergindo como o feixe de laser (Renk, 2017).

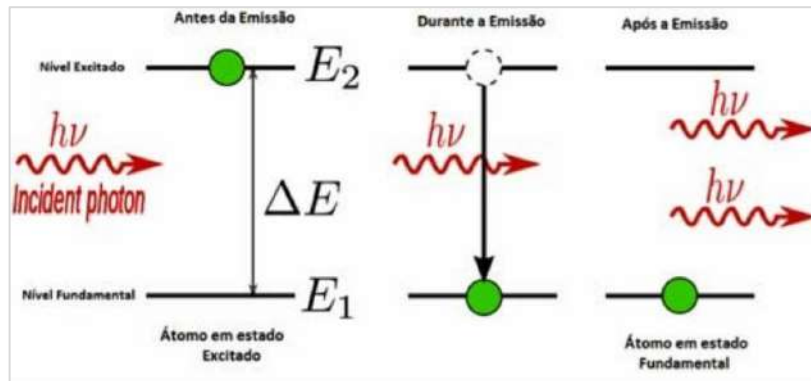
Para compreendermos a emissão da luz, consideramos que o átomo usado para a emissão da luz tem dois níveis de energia, E_1 e E_2 . A radiação eletromagnética monocromática de frequência ν pode interagir com o sistema atômico de dois níveis com a relação da energia de Bohr.

$$h\nu = E_{12} = E_2 - E_1 \quad (56)$$

Dois processos acontecem simultaneamente dentro do laser, competindo entre si: a absorção e a emissão estimulada de radiação. Durante o processo de absorção, um fóton é convertido em energia de excitação de um sistema atômico de dois níveis por uma transição $1 \rightarrow 2$ entre os estados de energia do elétron. No processo de absorção, apenas alguns elétrons se tornam excitados (Renk, 2017).

O fóton, porém, pode também induzir esse elétron a retornar ao estado fundamental, emitindo um segundo fóton com a mesma direção, fase e comprimento de onda do fóton original, como ilustrado na Fig. 17. Isso é o que é conhecido como emissão estimulada. Nesse processo, as fases dos campos são correlacionadas e, em consequência, a radiação é coerente (Renk, 2017).

Figura 17 – Um elétron no estado excitado retorna ao nível inicial emitindo dois fótons, amplificando a radiação



Fonte: Khalid (2022, p. 19).

Consideremos que o meio ativo é um conjunto de sistemas de dois níveis, em que a intensidade de emissão estimulada é proporcional a N_2 (população do nível 2) e a intensidade de absorção é proporcional a N_1 (população do nível 1). A emissão estimulada prevalece se $N_2 - N_1 > 0$, enquanto a absorção prevalece se $N_2 - N_1 < 0$. Em um meio ativo, a diferença populacional $N_2 - N_1$ é maior que zero, ou seja:

$$N_2 - N_1 > 0 \quad (57)$$

Uma inversão populacional corresponde a um estado de não equilíbrio de um conjunto de sistemas atômicos de dois níveis. Em equilíbrio térmico, a população N_2 de um conjunto de sistemas atômicos de dois níveis é sempre menor que a população N_1 . O equilíbrio térmico de muitos meios contendo um conjunto de sistemas atômicos é governado pelas estatísticas de Boltzmann. Se as estatísticas de Boltzmann se mantiverem, a razão entre a população do nível superior e a população do nível inferior é dada por

$$\frac{N_2}{N_1} = e^{-(E_2 - E_1)/KT} \quad (58)$$

Onde K é a constante de Boltzmann. Assim, a agitação térmica dos átomos excitados está relacionada à grandeza KT , a qual é uma medida da energia média dos átomos à temperatura T . Ou seja, quanto maior a temperatura do sistema, maior será o número de átomos excitados pela agitação térmica de colisões com outros átomos para um estado de maior energia E_2 (Renk, 2017).

4.4.2.5 Tipos de lasers

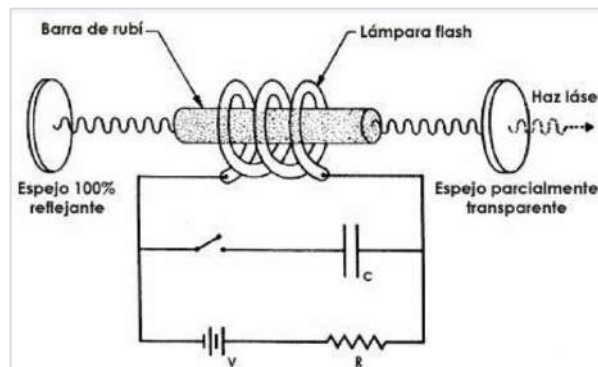
A luz tipo laser pode ser obtida a partir de substâncias sólidas, líquidas e gasosas, as quais podem ser estimuladas por bombeamento ótico, os quais podem ser aplicados em

materiais cristalinos, vítreos e líquidos, gasosos e plásticos (Matzner, 1983). Essa também pode ser obtida a partir de bombeamento por RF ou corrente contínua, como no caso dos lasers a gás, ou por bombeamento por injeção de uma corrente intensa, como no caso dos lasers a semicondutores (Matzner, 1983).

4.4.2.5.1 Laser de estado sólido

São dispositivos constituídos por sólidos com impurezas, em que o material sólido dopado com íons de impurezas, é colocado em uma cavidade óptica formada por dois espelhos externos, sendo um deles totalmente refletor enquanto o outro transmite uma pequena radiação incidente, como ilustrado na Figura 18. Os estados das impurezas são populados por bombeamento óptico, produzidos por lâmpadas de flash (Rezende, 2015).

Figura 18 – Esquema ilustrando um laser de Rubi bombeado por lâmpada de flash



Fonte: Rezende (2015, p. 353).

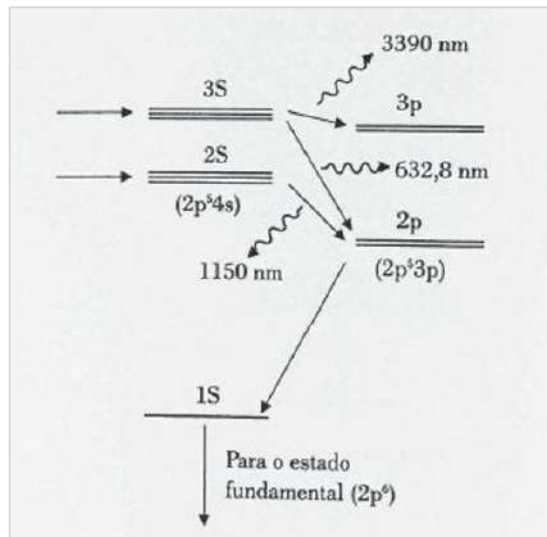
O laser de rubi é dopado por íons de cromo e leva a um decaimento de elétrons em um tempo curto, gerando uma radiação de comprimento de onda de 694,03nm, que caracteriza a cor vermelho. Para gerar radiação contínua, o laser emite pulsos em uma taxa de repetição determinada pelo circuito de descarga (Matzner, 1983).

4.4.2.5.2 Laser de gás

Nos lasers a gás, a emissão estimulada ocorre entre estados quânticos de átomos ou moléculas, que são em geral excitados por meio de colisões numa descarga elétrica. A alta tensão aplicada entre os eletrodos mantém uma descarga elétrica no gás, que pode estar confinado ou circulando. O laser de Hélio-Neônio foi o primeiro laser a gás descoberto, sendo

ainda hoje muito utilizado em aplicações simples de baixa potência. As transições 3S-3p e 2S-2p ocorrem no infravermelho, enquanto a transição 3S-2p tem $\lambda = 632,8 \text{ nm}$, situada na região vermelha do espectro, como ilustrado na Figura 19. O laser de He-Ne é de fabricação simples e opera continuamente com baixa corrente, sendo por isso muito utilizado numa grande variedade de aplicações de baixa potência (Rezende, 2015).

Figura 19 – Níveis de energia e transição de laser em átomos de neônio



Fonte: Rezende (2015, p. 358).

Outro laser a gás importante com radiação de luz visível é o laser de Argônio. Ele opera com transições eletrônicas nos íons de Ar, produzindo radiação em várias linhas do espectro visível. As mais intensas ocorrem em 488 nm (azul) e 514,5 nm (verde) (Rezende, 2015).

4.4.2.5.3 Laser de fibra

O laser de fibra é um dispositivo onde uma fibra óptica é dopada com elementos de terras raras como: Disprósio, Érbio, Nólmio, Neodímio, Praseodímio, Túlio ou Itérbio. Em um laser de fibra, troca-se o gás por uma fibra óptica de vidro de sílica. Essa fibra é então “dopada” quando um pouquinho de um dos elementos de terras raras é adicionado a essa fibra (Rezende, 2015). Um exemplo deste tipo de laser é mostrado na Figura 20.

Os lasers de fibra foram inventados por Elias Snitzer em 1963. No entanto, os primeiros modelos comerciais só apareceram no mercado no final dos anos 1980 (Rezende, 2015).

Figura 20 – Módulo de laser de fibra óptica



Fonte: Elaborado pela autora⁴.

4.4.2.5.4 Laser de líquido

Um laser corante é um tipo de laser que utiliza um corante orgânico como meio ativo, geralmente em solução líquida, como ilustrado na Figura 21. Diferente dos lasers a gás e da maioria dos lasers de estado sólido, os lasers corantes podem operar em uma faixa muito mais ampla de comprimentos de onda, frequentemente variando entre 50 e 100 nanômetros ou mais. Os corantes empregados nesses lasers contêm grandes moléculas orgânicas que emitem fluorescência (Rezende, 2015).

Figura 21 – Fluorescência de uma solução de cumarina excitada por um laser a 400 nm



Fonte: PhysicsOpenLab⁵.

No entanto, os corantes líquidos possuem um limiar de lasing extremamente alto. Para fornecer a energia necessária para ativar o corante e induzir a emissão laser, é comum o uso de um laser de nitrogênio pulsado externo (Rezende, 2015).

⁴ Via ChatGPT.

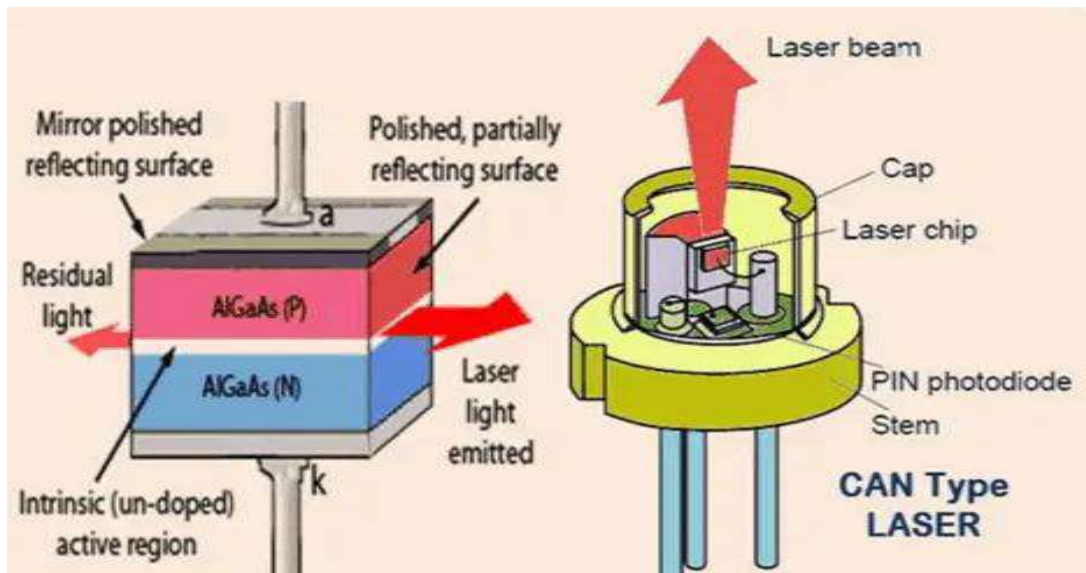
⁵ Site oficial.

4.4.2.5.5 Laser semiconductor

O laser de diodo semiconductor, mais conhecido como laser de diodo, tem dimensões milimétricas, baixo custo e requer baixa potência de alimentação. Ele foi descoberto em 1962, inicialmente com junção simples de GaAs (Arseneto de Gálio) e operava em temperatura de hélio líquido (4,2 K) com correntes altas. Zhores Alferov e o alemão-americano Herbert Kroemer mostraram a possibilidade de aumentar o ganho do laser com um confinamento de elétrons e buracos em hetero-junções (Rezende, 2015).

Atualmente são feitos com hetero-junções múltiplas de ligas de semicondutores de gap direto, como ilustrado na Figura 22. Operam à temperatura ambiente e com baixas correntes, e produzem potências de luz que variam de alguns mW. O laser de diodo semiconductor tornou-se um componente essencial dos sistemas de comunicação óptica, de inúmeros equipamentos eletrônicos e de outras aplicações (Rezende, 2015).

Figura 22 – Esquema que representa um sistema de um diodo laser



Fonte: Matan (2023).

5 REVISÃO DE PRODUÇÕES ACADÊMICAS

Dos mistérios da luz ao funcionamento do laser é um produto educacional que busca, a partir do conhecimento de luz, explicar o conhecimento do funcionamento de laser. Para tentar compreender o funcionamento do laser, desenvolvemos uma sequência didática abordando sobre a luz desde sua compreensão como onda eletromagnética até o seu comportamento corpuscular.

Assim, desenvolvemos nosso trabalho em 5 assuntos principais que são: Ondas eletromagnéticas, efeito fotoelétrico, salto quântico, funcionamento do LED e funcionamento do laser, pois a base desses conhecimentos é essencial para compreendermos sobre os estudos já realizados na área e as abordagens utilizadas no ensino dos fenômenos relacionados à luz. Com isso, nosso trabalho tem o objetivo de apresentar e analisar as principais dissertações que investigam metodologias de ensino para conceitos dos assuntos que citamos.

Assim sendo, analisamos as dissertações disponíveis no acervo do site da Sociedade Brasileira de Física (SBF), produzida pelos alunos da Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), em uma busca cujo filtro foi realizado pelo nome do assunto da física que colocamos em cada uma das aulas desenvolvidas no produto educacional até o dia 03 de fevereiro de 2025.

5.1 Ondas eletromagnéticas

O assunto de ondas eletromagnéticas é um conteúdo que vem sendo trabalhado por diversos parâmetros, assim descrevemos e analisamos dissertações do repositório de dissertações do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), o qual identificamos 15 dissertações, em que os autores trabalham a luz eletromagnética de diversas situações e algumas revistas que identificamos ao colocar o filtro “ondas eletromagnéticas”.

5.1.1 Ondas eletromagnéticas no MNPEF

Ao buscar no site do MNPEF sobre esse assunto, identificamos 15 dissertações. Em seguida, realizamos a busca das dissertações, pois o repositório não apresenta link. Contudo buscamos nos diversos sites de busca e fizemos uma análise das dissertações listadas no Quadro 5.

Quadro 5 – Dissertações com temas envolvendo ondas eletromagnéticas no MNPEF

Dissertação	Autor
1. Ondas eletromagnéticas e visão: material complementar para o ensino médio sob a perspectiva do currículo mínimo	Priscila dos Santos Caetano de Freitas
2. A utilização das UEPS no estudo das ondas eletromagnéticas por meio de uma abordagem CTSA	Dilcineia correia da Silva Meneguelli
3. Física e jogos teatrais no ensino médio: uma proposta didática embasada nos três momentos pedagógicos para o ensino de ondas eletromagnéticas	André Luiz da Cunha Alves
4. Utilização de elementos de radioamadorismo no ensino de ondas eletromagnéticas	Maria Aparecida da Silva Lino
5. Sequência didática para o ensino e produção de ondas eletromagnéticas	Tiago Viana do Nascimento
6. Ondas eletromagnéticas com ênfase em raios x: uma proposta didática com o uso de tecnologias educacionais	Ana Paula Bim Maldonado
7. O Ensino De Ondas Eletromagnéticas no Projeto Mundial Do Ensino Médio: Uma proposta Interdisciplinar envolvendo Física e Geografia	David Jonathas Borges de Castro
8. Transmissão e recepção de ondas eletromagnéticas: uma abordagem experimental para o ensino médio e técnico	Rodrigo Teixeira Rossini
9. Ensino de ondas eletromagnéticas no 9º ano do ensino fundamental por meio de uma situação problema	Rafael José Pereira Vieira
10. Ondas eletromagnéticas e suas aplicações na metodologia da instrução pelos colegas	Lorena Matos dos Santos Ribeiro
11. Ferramentas didáticas e a aprendizagem sobre ondas eletromagnéticas e a polarização da luz	Maria Aparecida Da Conceição Dos Santos
12. Proposta de sequência didática estruturada nos três momentos pedagógicos para o ensino de ondas eletromagnéticas	Flávio Ribeiro Passinho
13. Associação da luz com ondas eletromagnéticas em uma abordagem dos três momentos pedagógicos	Robson Cesar Cardoso
14. Material de apoio ao professor de Física Utilização da bobina de Tesla para o ensino de ondas eletromagnéticas	Israel Herôncio Rodrigues de Oliveira Hadad
15. Unidade de ensino potencialmente significativa como instrumento de aprendizagem de ondas eletromagnéticas	Joane da Silva Santana

Fonte: Elaborado pela autora.

Observamos que as ondas eletromagnéticas foram trabalhadas através de diversas perspectivas, desde o uso de experimentação até metodologias ativas como Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS), jogos teatrais e ensino por pares. Na dissertação de Freitas (2019) identificamos um enfoque no currículo com base em um material didático alinhado ao currículo mínimo para o ensino médio, focado na relação entre ondas eletromagnéticas e a visão. Nela foi desenvolvido um material complementar baseado no currículo oficial, o qual buscou trazer um material que auxiliasse os professores a integrarem a aplicação das ondas eletromagnéticas ao contexto biológico, relacionando o espectro eletromagnético à visão humana, permitindo assim um ensino contextualizado.

Meneguelli (2020) por sua vez buscou desenvolver uma sequência didática baseada nas aprendizagens significativas e na contextualização social do conhecimento através da proposta de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) correlacionado à abordagem Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente (CTSA). A sequência didática consiste em aulas com atividades investigativas, experimentos e discussões sobre impactos sociais das

ondas eletromagnéticas, sempre trazendo um ensino interdisciplinar e contextualizado e buscando incentivar a formação crítica dos alunos.

Alves (2022) desenvolveu uma abordagem sobre as ondas eletromagnéticas em um formato diferencial, o qual se destacou por utilizar jogos teatrais no ensino de Física. Com essa proposta, o autor estruturou a interpretação do contexto sobre as ondas eletromagnéticas em três momentos pedagógicos: problematização inicial, organização do conhecimento e aplicação do conhecimento, o qual foi aplicado em uma turma da 3ª série do Ensino Médio, através de 18 aulas, distribuídas em 9 semanas. A sequência teve como objetivo favorecer a compreensão dos conteúdos relacionados às ondas eletromagnéticas, com trabalhos que fornecessem ao aluno a ludicidade, a criatividade e expressividade do educando, buscando contribuir com a sua formação crítica a partir da problematização e reflexão de temas sociais.

Lino (2020) realizou uma pesquisa mais voltada à aplicação de prática em sala de aula, destacando o radioamadorismo para ilustrar a transmissão e recepção de ondas eletromagnéticas, através de experimentos práticos com rádios amadores e análise de ondas, assim trabalha com um ensino contextualizado com foco das ondas eletromagnéticas mais direcionada ao espectro das ondas de rádio. Implementado em uma turma do terceiro ano do ensino médio, no município de São Paulo do Potengi, buscou despertar nos estudantes o interesse em estudar um fenômeno tão presente no cotidiano, além de procurar acabar com a visão de que os conceitos físicos não estão presentes no dia a dia.

Nascimento (2020) desenvolveu uma sequência didática através de atividades guiadas, com o objetivo de melhorar a compreensão do processo de geração e propagação das ondas. O produto educacional buscou trabalhar com uma metodologia de aprendizagem ativa, a Instrução pelos Colegas (IpC, como “*peer instruction*”), a qual busca colocar o aluno como o centro do universo da sala de aula. Nas atividades foram realizados pré-testes, teste e pós-testes como atividade final de caráter formativo.

Maldonado (2020) trabalha especificamente com a onda eletromagnética Raio X, com a qual ela busca, através de seu produto, auxiliar a promover um conhecimento crítico e detalhado sobre o surgimento dos Raios X nos alunos que trabalhem com seu produto, bem como enfatiza as aplicações e importância dessa radiação atualmente. Seu produto é formado através de uma sequência didática, baseada nas aprendizagens significativas de Ausubel, na qual está aplicado o uso de experimentos de Raios X via acesso remoto com objetos presentes no cotidiano dos alunos.

Castro (2020) traz um trabalho interdisciplinar envolvendo Física e Geografia, nesse ele analisa situações Física do cotidiano do aluno que também se situam com os conteúdos

da Geografia, tais como o funcionamento do GPS e a propagação das ondas, a utilização de mapas e Rosa dos Ventos. A idéia é fazer o aluno perceber que as ondas eletromagnéticas estão presentes em várias situações de seu cotidiano, por meio de diversas atividades envolvendo mapas.

Rossini (2016) destaca as tecnologias emergentes, representadas pelas siglas como AM, FM, Wi-Fi e 4G, como objetos de trabalho para serem trabalhados em sala de aula. Assim, a autora desenvolveu como produto educacional experimentos de baixo custo para explicar a emissão de ondas eletromagnéticas, destacando a importância do estudo das tecnologias. Contudo ela enfatiza que a abordagem matemática é um dos empecilhos encontrados para desenvolver o tema.

Vieira (2016) trabalhou com as radiações eletromagnéticas no cotidiano através de uma atividade dividida em quatro etapas: (I) apresentação da situação-problema, (II) proposta investigativa, (III) apresentação dos resultados da pesquisa e (IV) produção de um material audiovisual sobre a situação-problemas. O produto foi desenvolvido em uma sequência didática que buscou trabalhar o conhecimento científico de forma multidisciplinar.

Ribeiro (2017) trabalha com a metodologia ativa Peer Instruction, na qual propõe aulas que valorizem os conceitos de Física, reduzindo repetição de exercícios e aulas expositivas. Com essa metodologia, buscou-se aumentar a interação e a discussão entre os alunos de forma ativa e participativa na busca do processo ensino-aprendizagem.

Santos (2016) buscou em sua dissertação abordar o conteúdo de onda eletromagnética associando à polarização da luz, desenvolveu o trabalho com simulações didáticas com o uso do software Mathematica®, com animações GIF de ondas eletromagnéticas se propagando e atravessando polarizadores e meios opticamente ativos. Pautou-se na teoria da aprendizagem significativa de Ausubel para o desenvolvimento das atividades. Trabalhou também com experimentos tais como o uso de monitor de cristal líquido (LCD) que teve seu polarizador de saída retirado, realizando o experimento com uma solução opticamente ativa de sacarose e utilização das animações GIF.

Passinho (2018) desenvolveu uma sequência didática estruturada nos três momentos pedagógicos: a Problemática Inicial, a Organização do Conhecimento e a Aplicação do Conhecimento. Em seu produto foi trabalhada uma sequência didática com 4 aulas em que foram apresentados slides com questionamentos contextualizados, questões problematizadoras, gifs, simulação virtual, texto pré-elaborado, que foram os materiais utilizados nas aulas caracterizadas pela problematização e dialogicidade.

Cardoso (2017) relaciona as ondas eletromagnéticas nas diversas situações do cotidiano. Esse organizou uma sequência didática assistida por três experimentos que mostram a associação da onda eletromagnética com a luz, baseados nos três momentos pedagógicos sugeridos por Delizoicov, Angotti e Pernambuco. O autor considera essa uma ferramenta útil, pois auxilia na dialogicidade entre o professor e os alunos.

Hadad (2018) desenvolve uma sequência didática com 4 aulas, organizadas em um pré-teste, uma aula de apresentação do conteúdo, uma aula de experimento e uma aula de pós-teste. Baseou a parte teórica no software Winplot, em animação de ondas eletromagnéticas e, para o experimento, o autor desenvolveu um protótipo com placa de protoboard, bateria e bobina de tesla, bem como a ligação correta com os materiais elétricos necessários. Por fim, o autor realizou um pós-teste para verificar a aprendizagem dos alunos.

Santana (2019) aplicou uma sequência didática pautada nos moldes de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS). Fundamentado na Aprendizagem Significativa de David Ausubel e no modelo proposto por Marco Antônio Moreira, o autor utilizou diversos recursos didáticos, como slides, simulações virtuais, experimentos reais, vídeos e situações problema, nas aplicações dos passos propostos na UEPS.

Observamos que a maioria das dissertações e artigos das revistas aborda o conteúdo através de aulas que observam o cotidiano como ponto de partida para a elaboração do produto. Diversas dissertações desenvolvem seus produtos a partir da aprendizagem significativa de Ausubel, com destaque para as Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS). Também foram observadas as metodologias IpC e Ensino Investigativo. O uso de software pelos professores para facilitar o aprendizado foi observado apenas em um produto educacional.

5.1.2 Ondas eletromagnéticas em artigos e revistas

Identificamos que o assunto ondas eletromagnéticas é amplamente abordado em várias revistas, como a revista em ensino de ciências e matemática, cujos autores Gomes, Batista e Fusinato (2017) trazem para o contexto educacional as ondas eletromagnéticas com o enfoque em ciência, tecnologia e sociedade para o ensino de Física através de uma sequência didática de 6 encontros, com 2 aulas cada encontro, em que foram trabalhados mapas conceituais, leituras e dramatização do texto “Quem pinta o mundo?”, exposição dialogada e experimento de construção de um espectrômetro com os materiais já preparados pelo professor (Gomes; Batista; Fusinato, 2017).

O espectrômetro é um assunto muito trabalhado quando se fala em ondas eletromagnéticas, pois auxilia na compreensão das ondas eletromagnéticas em suas diferentes fontes luminosas. Barros, Assis e Langhi (2016) sugerem a construção do espectrômetro para utilização em uma aula de Astronomia.

Laburú *et al.* (2000) trouxeram um experimento que busca visualizar as ondas eletromagnéticas estacionárias, por meio de um experimento na cozinha de casa, em que o autor utiliza um micro-ondas e papel de fax preso em uma amarração. O papel de fax registra as marcações das ondas em determinados pontos que o autor identificou como um nó da onda.

Prado e Leite (2012) apresentam a espectroscopia no infravermelho para o ensino médio, enfatizando que, por ser uma radiação invisível ao olho humano, é necessária a interação onda – matéria para que seja possível percebê-las. Trazendo materiais sensíveis através de circuito elétrico de tal modo que, quando recebem radiação no infravermelho, enviam sinais elétricos para um computador.

Com isso percebemos que as ondas eletromagnéticas ainda são um assunto em destaque na escolha dos professores que estudam no MNPEF e aqueles que desenvolvem artigos para revistas. Observamos que os autores aplicaram o assunto em diversas situações, tal como efetuamos em uma de nossas aulas com o nosso circuito das cores.

5.2 Efeito fotoelétrico

O efeito fotoelétrico, que é um dos assuntos fundamentais para a compreensão do funcionamento do laser, também é um assunto de grande discussão e criação de produtos educacionais de nosso mestrado. Realizamos a busca por meio do repositório no MNPEF e de revistas recorrendo o Google Acadêmico e trouxemos alguns trabalhos que foram realizados pautados nesse conteúdo da Física.

5.2.1 Efeito fotoelétrico no MNPEF

No filtro de efeito fotoelétrico, identificamos 15 trabalhos que realizaram trabalhos pautados nesse assunto. Listamos na Tabela 6 cada um deles na ordem apresentada pelo repositório do MNPEF.

Quadro 6 – Dissertações com temas relacionados ao efeito fotoelétrico no MNPEF

Dissertação	Autor
1. Ensino do efeito fotoelétrico para estudantes com deficiência visual usando um dispositivo sonoro-elétrico-óptico-automático	Marcos José Santos Estevam
2. Proposta de uma UEPS para ensinar o efeito fotoelétrico no ensino médio	Adriana Fatima De Lima
3. O efeito fotoelétrico na inserção da Física Moderna no ensino médio	José Paulo Nascimento
4. Uma proposta de sequência didática com base em metodologias ativas por meio do ensino híbrido para o ensino da óptica da visão e do efeito fotoelétrico	Diego De Oliveira Pezzin
5. Uma Sequência Didática para a Física Quântica: a Experimentação no Ensino do Efeito Fotoelétrico	Wladimir Ferreira Parente
6. Elaboração e aplicação de um material instrucional baseado na aprendizagem significativa sobre o efeito fotoelétrico para alunos do Ensino Médio	Wilson Carminatti Benaquio
7. Efeito fotoelétrico: uma abordagem a partir do estudo de circuitos elétricos	Júlio Cesar Cabral
8. Interação da radiação com a matéria e implicações para o ensino de mecânica quântica: o caso do efeito fotoelétrico	Gilvan De Oliveira Rios Maia
9. Objeto de aprendizagem para o ensino do efeito fotoelétrico no ensino fundamental	Alexandre Da Silva Santos
10. Uma proposta de sequência didática sobre o efeito fotoelétrico para o ensino de física moderna e contemporânea na educação básica	Jânio De Sousa Leal
11. Sequência didática multimídia para o ensino do efeito fotoelétrico	Ricardo Monteiro Da Silva
12. Uma Sequência Didática Alternativa: Conceitos de Eletricidade e o Efeito Fotoelétrico Utilizando Simulações Computacionais	Marcos Paulo Baliscei
13. Uma proposta para se ensinar efeito fotoelétrico no ensino médio	Danilo Corci Batista
14. Sequência didática potencialmente significativa sobre o efeito fotoelétrico	Murilo Oliveira Da Silva
15. Inserção da física moderna e contemporânea no ensino médio: uma sequência de ensino para abordar o efeito fotoelétrico	Jocival Santos Souza

Fonte: Elaborado pela autora.

Lima (2018) trabalhou proposta de ensino baseada na Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), em que organizou em uma sequência de sete aulas que buscou organizá-las em oito aspectos sequenciais. Aplicou a alunos do 3º ano do ensino médio em uma instituição de ensino privada na cidade de Paracatu-MG.

Nascimento (2023) trouxe para as aulas de Física uma sequência de aulas, nas quais buscou realizar uma modelagem e resoluções de problemas, com foco na teoria da aprendizagem significativa em três fases: (I) Organizador avançado, (II) apresentação da tarefa ou material de aprendizagem e (III) fortalecimento da organização cognitiva. O autor baseou seu projeto no software PHET e em experimentos práticos.

Parente (2020) destaca a importância da inserção da Física Moderna e Contemporânea no ensino médio, devido aos seus avanços tecnológicos, em especial ao processo de quantização da energia e ao efeito fotoelétrico. Para abordar esse assunto, utilizou a ideia de UEPS proposta por Moreira para a construção de uma sequência didática. O autor fez

uso do software PHET para a explanação de experimentos do efeito fotoelétrico em suas diversas situações.

Benaquio (2016) elaborou um Material Instrucional (MI) que foi aplicado a alunos de um Curso Técnico em Mecânica Integrado ao Ensino Médio. O autor também desenvolveu o material com base nas UEPS de Moreira, nos quais foram utilizados mapas conceituais, avaliação somativa, questões inseridas ao longo do MI. Foi analisada a qualidade do mapa e na representação dos conceitos relacionados ao Efeito Fotoelétrico.

Cabral (2015) criou um material potencialmente significativo, pautado na teoria de Ausubel, o qual busca a inserção de conteúdos de física moderna no ensino médio, priorizando o efeito fotoelétrico como assunto principal desse material. Esse foi organizado em uma sequência didática com um roteiro de atividades e de experimentos que auxiliassem os alunos a compreenderem o fenômeno estudado.

Santos (2016) buscou trazer conteúdo da física moderna e contemporânea para a sala de aula, através de um software educacional ou objeto de aprendizagem para computador, em que trabalhou com um jogo sobre o efeito fotoelétrico, desenvolvido na linguagem de programação Java, com várias fases que buscavam motivar os alunos.

Leal (2017) apresenta uma sequência didática para o conteúdo do Efeito Fotoelétrico, verificando elementos históricos da Física moderna e contemporânea, pautados nas metodologias dos três momentos pedagógicos e em atividades experimentais utilizando circuitos elétricos aliados com recursos de simulação.

Silva (2015) desenvolveu um produto educacional voltado ao ensino do efeito fotoelétrico no ensino médio através do uso do simulador PHET, mediante uma sequência didática com questionários de levantamento de conhecimento prévio, leitura de material instrucional, pesquisa bibliográfica e realização de simulação, seguindo um roteiro de perguntas.

Baliscei (2016) desenvolveu uma apostila, elaborada visando alunos da Educação de Jovens e Adultos (EJA), pautada na teoria de aprendizagem significativa de David Ausubel e na pedagogia de Paulo Freire. A sequência didática faz uso do software PHET em que foi possível observar ligações de circuitos, associação de resistores. Fenômenos magnéticos e o efeito fotoelétrico.

Batista (2016) implementou uma sequência didática para o ensino do efeito fotoelétrico, fundamentada, pedagogicamente, na teoria sociocultural de Vygotsky. Foi organizada em quatro aulas: duas aulas para a construção de um experimento prático em que os

alunos demonstram a absorção de luz e geração de corrente elétrica com um LED e nas outras duas aulas é observado o experimento virtual pelo software PHET.

Silva (2017) desenvolveu uma sequência didática a fim de levar a física moderna e contemporânea para o ensino médio com base no modelo de Méheut e Psillos, com modelo TLS que promove aos alunos um melhor esclarecimento sobre o conhecimento científico, através do interacionismo de Vygotsky. As aulas abordaram temas da mecânica quântica, como quantização da energia, dualidade onda partícula, fóton e quanta, através de 3 aulas que continha vídeos curtos explicando sobre o tema e experimento virtual através do software PHET.

Souza (2018) busca contribuir com a Física moderna através de uma sequência didática sobre o efeito fotoelétrico que ele denominou Sequência Didática Investigativa (SDI) que tem por objetivo a alfabetização científica em 5 etapas: 1ª a proposta da situação problema, 2ª a resolução do problema pelos estudantes, 3ª a apresentação do que foi feito para resolver o problema, 4ª a apresentação do que foi feito para resolver o problema e 5ª relato individual sobre a implementação SEI.

Das 15 dissertações analisadas, 3 não puderam ser visualizadas, pois não foi possível localizar o arquivo nem no repositório, nem em sites de buscas, sendo elas a pesquisa de Marcos José Santos Estevam, Diego De Oliveira Pezzin e Gilvan De Oliveira Rios.

Identificamos que a maioria dos autores das dissertações trouxe o conteúdo através de sequências didáticas, tendo uma em especial de Souza (2018) que desenvolveu uma Sequência Didática Investigativa (SEI), a qual trouxe um experimento semelhante ao que usamos em nosso produto educacional. Dois autores abordaram o conteúdo pautados na Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) e dois enfatizaram o interacionismo de Vygotsky para basear seus produtos, mas foi perceptível que a maioria fez uso do software PHET para demonstrar o experimento do efeito fotoelétrico.

5.2.2 O efeito fotoelétrico no ensino de física em artigos e revistas

A busca sobre a inserção do efeito fotoelétrico no ensino de Física foi realizada através do *Google Acadêmico* com o filtro o efeito fotoelétrico no ensino de física. Ao iniciarmos nossa pesquisa, nos deparamos com o artigo de Silva e Assis (2012) que trouxeram um experimento bem interativo para demonstrar o efeito fotoelétrico no ensino de Física. Os autores construíram um aparato que busca fazer os alunos ouvirem o controle remoto através de um circuito que incluía um fototransistor que auxiliava a conversão, do qual recebia o sinal

do controle remoto e convertia em sinal sonoro com o auxílio do fototransistor e de uma caixa de som acoplada no experimento. Percebemos que esse experimento insere de uma forma dinâmica e interativa o efeito fotoelétrico no ensino de Física.

Eberhardt *et al.* (2017) trazem um experimento com lâmpadas néon e LEDs para demonstrarem o efeito fotoelétrico. Publicado na revista brasileira em ensino de Física, os autores “[...] descrevem uma descoberta experimental dos autores sobre a viabilidade de lâmpadas néon serem utilizadas como sensores de luz em uma montagem destinada ao ensino do Efeito Fotoelétrico” (Eberhardt *et al.*, 2017, p. 2). O circuito para a demonstração do efeito fotoelétrico consiste na exposição de luz de incidente emitida pela luz do LED na lâmpada neon que recebe e a converte em corrente elétrica através de um multímetro conectado à lâmpada de néon.

Silva Júnior e Coelho (2020) desenvolveram uma sequência didática para estudar o efeito fotoelétrico das iluminações públicas da cidade, artigo publicado na revista brasileira em ensino de Física, baseada nas mais diversas dissertações propostas pelo MNPEF, assim eles pautaram essa sequência didática no ensino por investigação em que foram trabalhadas questões abertas e fechadas, experimento com lâmpada incandescente com relé fotoelétrico de iluminação pública. Também fizeram uso da demonstração experimental virtual do software PHET.

Reis (2019) aprofunda o estudo do efeito fotoelétrico em uma tese de doutorado, a qual enfatiza a importância do ensino da Física Moderna e Contemporânea, baseada nas teorias de Ausubel, ela propôs uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS). A autora criou um experimento próprio contendo uma mini placa solar a qual iluminou com várias cores de lâmpadas fluorescentes. Assim, ela constatou que, através da aplicação das UEPS, os alunos conseguiram representar corretamente o efeito fotoelétrico através de representações conceituais.

Rosa e Dickman (2015) elaboraram uma sequência de atividades para o ensino do efeito fotoelétrico com a utilização de atividades experimentais e simulação computacional desenvolvida pelo projeto PhET, a qual foi aplicada a estudantes do primeiro ano do curso de Licenciatura de Física e Matemática. Os resultados baseados na coleta de dados apresentaram que os alunos tiveram um nível de entendimento mais significativo após a participação da sequência de atividades.

Observamos que o efeito fotoelétrico é amplamente inserido no ensino por meio de experimentos práticos e virtuais, em que a apresentação desses facilita a aprendizagem dos

alunos na percepção do fenômeno, bem como na inserção do conteúdo de Física moderna e contemporânea no ensino médio, o qual ainda não é muito trabalhado.

5.3 Salto quântico

Seguindo para o próximo tema, esse, ao ser pesquisado no repositório de dissertações do MNPEF com o filtro “salto quântico”, “teste da chama”, “Bohr” e “emissão estimulada”, não identificamos nenhuma dissertação abordando sobre o tema. Porém, a dissertação de Souza (2022) (ver Quadro 7) norteou nosso trabalho sobre emissão estimulada da luz.

Quadro 7 – Dissertações com temas relacionados a saltos quânticos no MNPEF

Dissertação	Autor
Análise da aplicação de unidade didática para o ensino de atomística sob a perspectiva do desenho universal para a aprendizagem (DUA)	Mariana Leite Cavalcanti de Souza

Fonte: Elaborado pela autora.

A autora desenvolveu um trabalho sobre atomística para o Mestrado Profissional em Química. Nele, ela desenvolveu uma sequência didática sobre a evolução dos modelos atômicos, o qual nos pautamos no experimento do Teste Chama para exemplificar o salto quântico estudado no modelo atômico de Bohr.

Ao pesquisar sobre o “salto quântico” no Google Acadêmico, identificamos diversos artigos, revistas e livros, porém nenhum voltado para a educação. Assim seguimos para a pesquisa sobre “teste da chama”, o qual é a base para o desenvolvimento do nosso trabalho.

5.3.1 Teste da chama

O teste da chama é abordado em estudos da química, pois esse é um experimento simples, capaz de explicar o processo de transição eletrônica dos átomos. Porém, de forma análoga, o funcionamento do LED é também um movimento eletrônico dos elétrons quando estimulados por uma fonte de energia. Assim, analisamos a seguir alguns trabalhos sobre o teste da chama.

Nunes *et al.* (2019) e Souza *et al.* (2017) analisam a importância do teste da chama para a compreensão da transição eletrônica. Nunes *et al.* (2019, p. 1) enaltecem que a “[...]”

teoria bastante didática que ajuda a entender o que ocorre na prática quando algumas substâncias emitem luz de coloração diferente quando expostas a uma fonte de calor intensa” consistiu na aplicação da aula prática no laboratório de Química Geral, em que os alunos puderam identificar os sais usados pelas cores emitidas durante o aquecimento dos sais.

Oliveira de Souza *et al.* (2017) complementam os estudos de Nunes *et al.* (2019) ao enfatizar que “[...] as aulas práticas estimulam a curiosidade, a iniciativa e a autoconfiança; aprimoram o desenvolvimento de habilidades linguísticas, mentais e de concentração” (Souza *et al.*, 2017, p. 2). Assim, essa temática tem muitos trabalhos já produzidos, demonstrando a mesma aplicabilidade do teste da chama para a compreensão do modelo atômico de Bohr, tais como os trabalhos de Yamaguchi *et al.* (2020), Soares *et al.* (2024), Müller *et al.* (2014) entre outros.

Canciam (2021) aplicou o teste da chama de uma forma diferente ao aplicá-lo para a identificação de resina termoplástica, no qual descreveu o teste de chama aplicado em amostras de PP, PET, PEAD, PVC e PS. O trabalho descreve a interação das resinas plásticas com o calor em relação à cor da chama, presença de fumaça, presença de fuligem, gotejamento e coloração das gotas. Apesar de ser um trabalho muito valoroso, não é designado à educação, mas poderia ser relacionado interdisciplinarmente em relação a sustentabilidade.

5.4 Funcionamento do LED

O funcionamento do LED está associado ao estudo de semicondutores, o qual, por diversas vezes, é mais abordado em ensino de engenharia ou em cursos específicos para o estudo de eletrônica ou de semicondutores. A seguir, observamos trabalhos publicados pelo MNPEF e em revistas e artigos que foram buscados através do *Google Acadêmico*.

5.4.1 Funcionamento do LED no MNPEF

Sobre o funcionamento do LED, buscamos referências bibliográficas no repositório do MNPEF, em que usamos como filtro apenas o nome “LED”. Ao pesquisar, identificamos 4 trabalhos envolvendo LED, os quais listamos no Quadro 8.

Quadro 8 – Dissertações sobre LED no MNPEF

Dissertação	Autor
1. Elaboração de uma unidade de ensino para investigação da tensão de corte do LED	Robson Domingos Da Cruz Santos
2. Proposta de uma sequência didática sobre tópicos de física quântica através do uso de simulações computacionais e da determinação da constante de Planck com leds aplicado ao ensino médio	Gleiton Santos Maciel
3. Uma abordagem para o ensino de dispositivos LED no ensino médio	Adriéli Machado Alves
4. Dispositivo eletrônico semicondutor LED: uma abordagem baseada em unidade de ensino potencialmente significativa	Sebastião Carlos do Espírito Santo

Fonte: Elaborado pela autora.

Santos (2020) desenvolveu uma sequência didática pautada na aprendizagem significativa em que foi feita uma aula demonstrativa com o Arduino, no qual foi usado um circuito simples que pudesse modificar o fluxo de corrente que passava no LED, obtendo um gráfico de tensão versus corrente para determinar a tensão de corte. Para realizar o experimento, foi realizada uma aula demonstrando o LED e suas especificidades.

Maciel (2015) propôs uma sequência didática sobre tópicos de Física Quântica como estratégia aplicada ao Ensino Médio por meio de atividades diferentes. Foram utilizadas simulações para apresentação de fenômenos quânticos, com um experimento demonstrando a Constante de Planck, com o auxílio do simulador PHET. Foram usados os experimentos escolhidos de Efeito Fotoelétrico, Radiação de Corpo Negro e Laser.

Alves (2017) desenvolveu uma Sequência Didática para trabalhar os conteúdos de Física Moderna no Ensino através do funcionamento do dispositivo diodo emissor de luz (LED), através de aulas expositivas, simulação computacional e experimento de demonstração com caráter investigativo. Aplicado em oito momentos, a sequência buscou analisar o funcionamento do LED, desde o conceito de radiação eletromagnética até características elétricas, as cores e as aplicações do LED.

Santo (2017) propõe sequência didática sobre a Física Moderna necessária para explicar o comportamento de materiais semicondutores e o funcionamento do LED, através da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), a qual se baseia nas teorias da aprendizagem de Ausubel. Para desenvolver as atividades propostas, o autor fez uso da metodologia de Sala de Aula Invertida, a fim de oferecer aos alunos condições para um estudo fora da sala de aula.

Percebemos que, ao desenvolver trabalhos sobre o funcionamento de LED, o estudo de semicondutores é intenso para se explicar como um LED funciona, bem como suas características peculiares. Ainda assim, através desse estudo, é possível abordar a Física

Moderna e a Física Quântica de uma forma dinâmica e acessível aos estudantes de ensino médio.

5.4.2 Funcionamento do LED em artigos e revistas

Para a pesquisa sobre o funcionamento do LED no Google Acadêmico, preferimos trazer apenas trabalhos voltados para a educação. Diante da pesquisa, nos deparamos com muitos trabalhos voltados para a engenharia.

Oliveira *et al.* (2020) buscaram desenvolver uma maquete que buscava calcular a constante de Planck através de uma plataforma automatizada com a plataforma Arduino. O trabalho busca auxiliar os estudantes a compreenderem de uma forma mais automatizada as medições dos experimentos de Física, da definição da constante de Planck, permitindo aos alunos aprofundarem o conhecimento de métodos e técnicas do experimento na pesquisa científica.

Matos e Sarinho (2023) desenvolveram um jogo de realidade virtual para o ensino de circuitos digitais, intitulado “Não queima meu LED”. O jogo consiste nas montagens de circuitos elétricos com componentes eletrônicos em um ambiente 3D gamificado, em que os usuários precisam construir circuitos específicos para avançar de nível. O jogo foi desenvolvido para ser trabalhado dentro dos óculos de realidade virtual Quest 2 da Meta Horizon.

Tironi *et al.* (2013) desenvolveram um trabalho que buscava despertar a curiosidade dos alunos em relação à inserção da Física Moderna e contemporânea no ensino de Física. Assim, desenvolveram oito encontros extracurriculares com alunos, nos quais desenvolveram diversas teorias como Nanotecnologia e Efeito Fotoelétrico e os fenômenos presentes nas tecnologias atuais. No estudo do efeito fotoelétrico, os autores desenvolveram uma atividade com LEDs para a construção de painéis solares que seriam iluminados por diversas fontes de energia. Eles conseguiram observar experimentalmente a absorção de luz pelo LED convertendo luz em uma corrente elétrica que depende da fonte de luz emissora.

Assim podemos perceber que o estudo do LED está presente em pesquisas, contudo o uso desse para estudo de outros fenômenos ou da construção de circuitos é mais frequente do que a explicação de seu funcionamento, o qual é mais característico de trabalhos de engenharia elétrica.

5.5 Funcionamento do laser

O laser é uma tecnologia que vem ganhando espaço em muitas áreas, contudo seu funcionamento não é muito trabalhado na educação. Analisar seu funcionamento envolve um contexto educacional que pode ser explorado por diferentes abordagens teóricas, assim, ao analisarmos o repositório do MNPEF com o filtro “laser” nos deparamos com o trabalho de Lopes (2019), citado no Quadro 9.

Quadro 9 – Dissertações sobre laser no MNPEF

Dissertação	Autor
1. Laser como tema gerador no Ensino Básico (à luz da Quântica)	Pedro Americo De Santana Silva Lopes

Fonte: Elaborado pela autora.

Lopes (2019) usa o Laser como tema gerador para abordar conceitos formulados no campo da Física Quântica no ensino médio. O produto educacional consiste em uma sequência didática baseada na definição de Emissão Estimulada da Radiação para a compreensão do funcionamento do Laser. O produto foi aplicado com estratégias pedagógicas com base em modelos mentais e modelos conceituais.

5.5.1 Funcionamento do laser em revistas e artigos

Schittler e Moreira (2016) aplicaram uma sequência didática através de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa – UEPS com o tema Laser de Rubi, a qual buscou contemplar os assuntos da Física Moderna e Contemporânea, tais como Princípio da Conservação do Momento Angular, Modelo do Átomo de Bohr, Quantização da Energia, Diagrama de Níveis de Energia para o átomo de hidrogênio, Inversão de População, efeito Laser e Laser de Rubi. Após a aplicação dos conteúdos, os alunos construíram mapas livres sobre o entendimento dos conteúdos em grupos.

Moraes (2015) desenvolveu em seu trabalho de conclusão de curso um levantamento sobre a Física dos lasers, em que abordou a teoria do laser, processos de transições, inversão de população e apresentou alguns tipos de laser, tais como Laser de Rubi e Laser a Gás de Hélio-Neônio e suas aplicações na tecnologia.

Viscovini (2000), Pereira *et al.* (2023), Silva, Pedersen e Carvalho Neto (2022), Santos (2000) e Hakime (2015) fazem uso o laser para demonstração de experimentos, tais como experimentos de óptica. Silva, Pedersen e Carvalho Neto (2022) faz uso de apontadores

LED para auxiliar na construção de imagens 3D, em que explora o ensino de conceitos astronômicos tendo o céu noturno como pano de fundo.

Assim, identificamos que o laser é usado para diversos estudos e os trabalhos encontrados sobre ele estão mais direcionados ao uso para explicação e demonstração de experimento, do que para uma abordagem sobre o funcionamento do laser. Contudo, compreender o seu funcionamento nos permite compreender todos os outros assuntos que auxiliam na compreensão mais profunda do funcionamento do laser.

6 METODOLOGIA

O ensino de Física tem um amplo desenvolvimento de diversos conteúdos. Logo, um assunto específico de Física pode ser trabalhado em várias vertentes. Assim, resolvemos tratar do assunto que desenvolve o conhecimento sobre o funcionamento dos lasers. Como o laser está presente em várias das novas tecnologias, acabamos por nos motivar a conhecer sobre como funciona o laser, bem como trazer esse conhecimento para a educação básica, de uma forma mais simples e acessível para os alunos, desenvolvendo os conteúdos de uma forma mais interativa.

O laser é uma luz, então resolvemos compreender como a luz se forma, com isso abordamos um contexto histórico explorando as vertentes sobre a natureza da luz onda – partícula, bem como a evolução dos modelos teóricos que explicam seu comportamento. Discutimos desde as concepções clássicas, como a teoria ondulatória de Huygens e a teoria corpuscular de Newton, até os avanços proporcionados pela física quântica, que permitiram a compreensão do fenômeno da emissão estimulada, essencial para o funcionamento dos lasers.

Buscamos relacionar esses conceitos com aplicações práticas no cotidiano, tornando o aprendizado mais significativo para os alunos. A metodologia utilizada procurou equilibrar teoria e experimentação, proporcionando uma abordagem interativa e acessível ao ensino médio.

6.1 Pesquisa

Desenvolvemos um produto educacional com o título “DOS MISTÉRIOS DA LUZ AO FUNCIONAMENTO DO LASER”, o qual tem como objetivo trabalhar com uma sequência didática de 6 aulas, as quais estão divididas em trabalhar a luz como onda, a luz como partícula e a emissão estimulada da luz. Pautadas nesses conhecimentos básicos, as aulas ainda explicam também o funcionamento do LED e do laser. Posteriormente foi desenvolvida uma atividade para finalizar o produto educacional.

Nossa pesquisa está englobada em uma classificação quantitativa. São realizadas duas análises quantitativas. Uma associada a um pré-teste de 8 questões objetivas com 4 itens que estão organizados nas letras “a”, “b”, “c”, “d”, aplicados em dois momentos: o primeiro na aula introdutória e o segundo momento na aula final. Esse teste buscou identificar inicialmente se os alunos conhecem os assuntos abordados e, posteriormente, o quanto aprenderam após a aplicação das aulas.

Durante todas as aulas, foram aplicados experimentos com questionários que foram respondidos através da observação das equipes. Esse por sua vez, tem algumas perguntas com características qualitativas, as quais buscam identificar, através da observação, se os alunos compreenderam o fenômeno observado. Também abordaremos essas questões posteriormente na análise de dados.

Seguindo também com uma pesquisa quantitativa, desenvolvemos no produto educacional uma pesquisa em escala de Likert, que foi aplicada ao término do desenvolvimento das aulas, a fim de identificar a percepção dos alunos sobre o quanto eles aprenderam sobre cada tema que está abordado no produto. Assim, essa escala está organizada em 5 perguntas de cada tema que foi abordado e o aluno é convidado a responder em uma escala de 1 a 5, as quais tem com âncora: 1- discordo totalmente, 2- discordo, 3- neutro, 4- concordo e 5- concordo totalmente.

Podemos concluir que nossa pesquisa é mista, ou seja, quali-quantitativa, pois além de trazer dados estatísticos, traz a opinião dos alunos como um fator importante para o desenvolvimento do ensino de Física.

6.2 Local da pesquisa

O trabalho foi realizado na Escola de Ensino Médio em Tempo Integral José Valdo Ribeiro Ramos, localizada na Rua Pedro Américo, nº 100, bairro Carlito Pamplona, cidade de Fortaleza, estado do Ceará. A escolha da escola está relacionada com os 17 anos de profissão como professora efetiva na instituição. A escola é uma instituição administrada pelo âmbito estadual e possui uma gestão, escolhida através de eleição. A gestão acolheu o projeto e permitiu o desenvolvimento e aplicação do produto na instituição.

Sua estrutura tem um amplo espaço com uma área aproximadamente de 250m², conta com duas quadras de esportes, sendo apenas uma coberta. Temos refeitório, 10 salas de aula no pavilhão superior e 6 salas no pavilhão inferior. A escola tem cozinha, refeitório, 2 banheiros masculinos e 2 banheiros femininos, pátio, horta, sala dos professores, sala de planejamento, sala do financeiro, secretária e arquivo, sala da direção e coordenação, auditório, sala de multimeios, laboratório de informática, laboratório de Ciências com sala de preparação, sala da Matemática e estacionamento.

Durante o ano de 2024, a escola contava com 250 alunos matriculados, organizados em 4 turmas de primeiro ano, 3 turmas de segundo ano e 2 turmas de terceiro ano. Sendo a escola em tempo integral, o currículo escolar está organizado em 9 aulas por dia. O produto foi

desenvolvido e aplicado no decorrer do ano 2024, sendo desenvolvido no primeiro semestre de 2024 e aplicado para alunos de duas turmas no segundo semestre de 2024. O produto educacional foi então aplicado em uma disciplina eletiva denominada “práticas laboratoriais de Física”.

6.3 Participantes

A pesquisa foi desenvolvida com alunos do segundo ano do Ensino Médio, nas turmas A e B. O produto foi aplicado a 30 alunos da turma A e 28 alunos da turma B. Os alunos participantes tinham em média de 16 a 18 anos. No total, participaram das atividades 29 alunos do sexo masculino e 22 alunos do sexo feminino.

6.4 Local de desenvolvimento das aulas

As aulas foram desenvolvidas em diversos ambientes, dentre eles: o pátio externo, sala de aula, laboratório de Ciências e sala de Matemática. Todas as aulas contaram com dois a três tempos de aulas em que, no primeiro momento, se trabalhava uma parte teórica e, no segundo momento, buscava-se realizar um experimento associado ao assunto discutido. Durante a primeira aula, foi desenvolvida uma atividade de “caça às luzes da natureza” em que trabalhamos com os espaços escolares, dentre eles o pátio, a sala de multimeios, o laboratório de ciências e o micro-ondas da sala dos professores.

A segunda aula também foi desenvolvida em dois ambientes, sendo a primeira parte no laboratório de ciência e a segunda parte no pátio externo, a fim de se observar a incidência de luz no experimento das placas solares.

A terceira aula foi realizada totalmente no laboratório de ciências, em que abordamos um contexto histórico do átomo, a fim de explicar o salto quântico. Posteriormente, realizamos uma atividade denominada “Enigma das cores”, a qual se baseia no teste da chama para demonstrar a emissão estimulada de luz.

A quarta aula se deteve em explicar o funcionamento do LED, desde os tipos, classificações e seu comportamento ao receber energia. Buscamos demonstrar teoricamente como a luz é emitida através de um LED. Porém, como a escola só possui um laboratório de Ciências e este estava ocupado com outra atividade, desenvolvemos toda a aula teórica e experimental no ambiente de sala de aula.

A quinta aula teve o objetivo de explicar sobre o funcionamento do laser. Essa, por sua vez, foi desenvolvida na sala da matemática. Foi abordado o funcionamento do laser e os mais diversos tipos de laser existentes. No segundo tempo de aula, foi desenvolvida uma atividade de observação da colimação entre uma ponteira de laser e uma lanterna de led. A escolha do ambiente está associada a esta sala ser a mais escura da escola. A sexta aula foi desenvolvida no ambiente de sala de aula em virtude de ser uma aula de desenvolvimento de trabalho entre as equipes.

6.5 Metodologia de ensino aplicada nas aulas

O ensino de física é caracterizado por ser uma disciplina baseada em cálculos para demonstração e explicação de fenômenos. Como o produto foi aplicado em uma disciplina eletiva denominada “Práticas laboratoriais aplicadas ao Ensino de Física”, buscamos desenvolver um produto educacional para ser aplicado como parte dessa disciplina, assim buscamos realizar aulas mais dinâmicas e interativas.

Com isso, nos baseamos nas teorias de Piaget, através das ideias de assimilação e acomodação do conhecimento, em que os alunos recebem aulas que auxiliam na compreensão do funcionamento do laser. Acreditamos que, através das cinco primeiras aulas, desenvolveram a capacidade de estruturar o conhecimento para compreender de forma prática como realmente esse equipamento funciona.

Outra proposta trabalhada em nosso produto educacional foi o interacionismo proposto por Vygotsky, em que o aprendizado ocorre por meio da interação social. Sugerimos a estrutura para o desenvolvimento das atividades em grupo, a fim de que os alunos pudessem trocar conhecimentos, discutir conceitos e construir juntos a compreensão sobre as bases que constituem o funcionamento do laser. Com esse processo, favorecemos um ambiente colaborativo, fornecendo suporte para os estudantes através da mediação do professor.

Além disso, nosso produto educacional foi desenvolvido com base na metodologia de rotação por estação, permitindo que os alunos explorem diferentes aspectos do funcionamento do laser em atividades variadas. Cada aula foi composta com 2 a 4 estações que foram planejadas para abordarem um conceito específico, promovendo uma aprendizagem mais concreta e significativa. Essa abordagem possibilitou que os alunos se envolvessem mais ativamente no processo de aprendizado, manipulando materiais, observando fenômenos e registrando suas descobertas.

6.6 O produto educacional

Nosso produto educacional nomeado “Dos mistérios da luz ao funcionamento do laser” foi produzido com as ferramentas da plataforma online de design gráfico “Canva”. O mesmo traz para o ensino básico a problemática de compreender o funcionamento da tecnologia laser. Sendo esse um assunto recente, percebemos que, com uma disciplina que traz as práticas para o ensino de Física resolvemos desenvolver um material que contemplasse a disciplina conectado com as novas tecnologias.

Assim, resolvemos dar destaque para áreas que são fundamentais para o funcionamento do laser, tais como a explicação do que é luz, por meio de sua descrição como onda e como partícula, bem como a interação da luz como fóton com a matéria que é capaz de multiplicar a quantidade de fótons, ou seja, a luz gerando mais luz. Nosso trabalho foi organizado em um capítulo de apresentação, seis aulas de atividades e uma aula final.

6.6.1 Apresentação

O produto é um livro único que pode ser usado por professores e alunos. As primeiras páginas do produto trazem uma apresentação destacando a importância da luz para a nossa humanidade e destacam as novas tecnologias de emissão de luz, as quais estão presentes em nossas vidas diariamente, como LED através das iluminações das residências e os lasers que estão presentes em tecnologias mais avançadas. Enfatizamos a importância de desenvolver um produto nessa área em virtude de o laser ter em suas abordagens estudos nas áreas de óptica, ondas, Física Moderna, Física quântica e Física da matéria condensada, assim esse produto pode ser usado como base para trabalhar com essas áreas no desenvolvimento das aulas no ensino de Física.

Destacamos que o nosso objetivo geral do trabalho consiste em os alunos desenvolverem a compreensão do funcionamento do laser através de 5 objetivos específicos:

- I. Ondas de Luz: Destacar a luz por meio de seu comportamento ondulatório, caracterizando-a como uma onda eletromagnética.
- II. Fótons de Luz: Compreender o que é um fóton de luz e identificar a presença desses no raio de luz solar através de uma placa de LEDs.
- III. Salto Quântico: Analisar a distribuição eletrônica dos elétrons e a emissão estimulada de fótons de luz ao excitar um elétron através do teste da chama.

IV. LED: Compreender a formação de um LED, identificar a cor e o semicondutor que o produz.

V. LASER: Demonstrar o funcionamento do laser com base no composto químico, no átomo, no fóton e na emissão estimulada de luz.

Apresentamos em seguida o referencial teórico com base no construtivismo na proposta de assimilação e acomodação das informações de Piaget e no desenvolvimento das atividades através da interação proposto por Vygotsky. Desenvolvemos as metodologias ativas de aprendizagem baseada em equipes, a fim de que haja o interacionismo. Para as aulas se tornarem mais dinâmicas, realizamos as atividades em rotação por estação e, nos experimentos de construção da placa de LED, tivemos como proposta de metodologia ativa a cultura maker.

Fizemos uma breve apresentação das aulas de 1 a 5: para essas, foram elaborados questionários de observação, para coleta de dados das aulas em que criamos um QRcode para cada questionário, a fim de que as informações coletadas nas aulas pudessem gerar gráficos de análise de dados. Todas as aulas apresentam objetivos a serem trabalhados. Abordamos ainda na apresentação um pouco sobre os conhecimentos de física que estiveram presentes em cada aula e descrevemos as metodologias que seriam abordadas em cada uma das sete aulas, as quais estão organizadas em 1 a 3 aulas de 50 minutos, como mostra a Quadro 10.

Quadro 10 – Número de aulas por tema

Aula	Nº de aulas
Apresentação do produto educacional	1 aula
Aula 1: Ondas	3 aulas
Aula 2 Fótons	2 aulas
Aula 3: Salto Quântico	2 aulas
Aula 4: LED	2 aulas
Aula 5: LASER.	2 aulas
Aula 6: Aplicação dos LED X LASER e Avaliação final	2 aulas

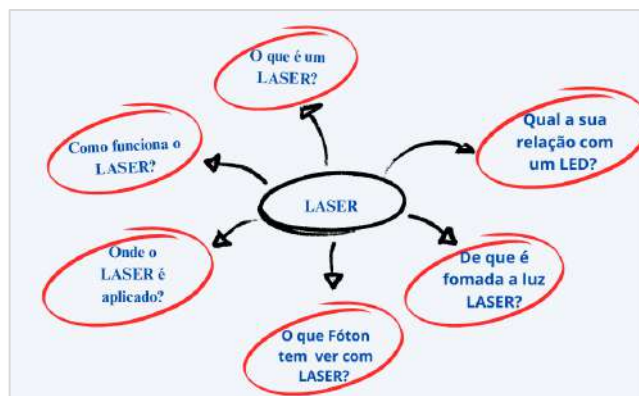
Fonte: Elaborado pela autora.

6.6.2 Apresentação do produto

A apresentação está organizada em 6 momentos em uma aula de 50 minutos. Os objetivos dessa aula são: apresentar o produto educacional, explanar sobre a importância de compreender o funcionamento do laser, solicitar adesão dos alunos por meio de formulário, identificar os conhecimentos prévios dos alunos.

No momento 1, temos a tempestade de ideias, como podemos observar na Figura 23.

Figura 23 – Tempestade de ideias sobre o laser



Fonte: Elaborado pela autora.

Em seguida, indagamos aos nossos alunos sobre a real importância de participar da aplicação do produto educacional. Assim sugerimos que respondessem ao questionário de aceitação através do código QR, que poderia ser acessado a partir da câmera do celular. No terceiro momento temos a avaliação diagnóstica, a qual está organizada em 8 questões com itens de “A”, “B”, “C”, “D”. No quarto momento, temos uma breve apresentação da metodologia a ser trabalhada no produto educacional e explicamos no quinto momento a metodologia ativa de rotação por estação, a qual trabalhamos em equipe. Finalmente, no sexto momento, temos a organização das equipes que participarão da aplicação.

Quadro 11 – Avaliação diagnóstica

<p>1) Qual é a diferença entre luz visível e outras radiações eletromagnéticas?</p> <p>(A) A luz visível tem maior comprimento de onda que as outras radiações.</p> <p>(B) A luz visível é a única forma de radiação que pode ser percebida pelo olho humano.</p> <p>(C) A luz visível tem menor energia que todas as outras radiações.</p> <p>(D) A luz visível não interage com a matéria.</p> <p>2) O que é o efeito fotoelétrico?</p> <p>(A) Emissão de elétrons de um metal quando ele é aquecido.</p> <p>(B) Emissão de elétrons de um metal quando ele é iluminado com luz de alta frequência.</p> <p>(C) Emissão de luz quando um elétron salta de uma órbita para outra.</p> <p>(D) Absorção de luz por um elétron.</p> <p>3) Como o efeito fotoelétrico está relacionado ao funcionamento de um LED?</p> <p>(A) LEDs utilizam o efeito fotoelétrico para emitir luz.</p> <p>(B) LEDs utilizam o efeito fotoelétrico para gerar eletricidade.</p> <p>(C) LEDs dependem da emissão de fótons devido à recombinação de elétrons e buracos.</p> <p>(D) LEDs utilizam o efeito fotoelétrico para absorver luz.</p> <p>4) Como os saltos quânticos geram luz?</p> <p>(A) Os elétrons saltam para níveis de energia mais altos e emitem luz.</p> <p>(B) Os elétrons saltam para níveis de energia mais baixos e emitem luz.</p> <p>(C) A luz é gerada quando os elétrons permanecem no mesmo nível de energia por muito tempo.</p> <p>(D) Os elétrons vibram, emitindo luz.</p>	<p>5) Explique o princípio de funcionamento de um LED.</p> <p>(A) Emissão de luz por aquecimento de um filamento.</p> <p>(B) Emissão de luz por recombinação de elétrons e buracos em um semicondutor.</p> <p>(C) Emissão de luz por radiação de corpo negro.</p> <p>(D) Emissão de luz por excitação de gases.</p> <p>6) Como a cor emitida por um LED depende dos materiais semicondutores?</p> <p>(A) A cor depende do tamanho do LED.</p> <p>(B) A cor depende da corrente elétrica aplicada.</p> <p>(C) A cor depende dos materiais semicondutores e da energia de bandgap.</p> <p>(D) A cor depende do formato do LED.</p> <p>7) O que é emissão estimulada e por que é importante para lasers?</p> <p>(A) Emissão de luz por excitação térmica, crucial para lasers.</p> <p>(B) Emissão de luz por recombinação de elétrons e buracos.</p> <p>(C) Emissão de fótons induzida por fótons incidentes, resultando em luz coerente.</p> <p>(D) Emissão de fótons por absorção de energia.</p> <p>8) Qual é a diferença entre a luz de um laser e a luz de um LED?</p> <p>(A) A luz de um laser é incoerente e divergente.</p> <p>(B) A luz de um LED é coerente e monocromática.</p> <p>(C) A luz de um laser é coerente, monocromática e colimada.</p> <p>(D) A luz de um LED é polarizada.</p>
--	---

Fonte: Elaborado pela autora.

6.6.3 Aula 1: Ondas

A aula 1 está organizada em 3 tempos de 50 minutos. No primeiro tempo de aula, tivemos por objetivos: abordar o conceito de onda e suas classificações, os tipos de ondas e um pouco da história da luz. Abordamos o Eletromagnetismo, a definição de onda eletromagnética e apresentamos as equações de Maxwell. Associamos a luz com as ondas eletromagnéticas e apresentamos o espectro das ondas eletromagnéticas, a velocidade da luz e as ondas estacionárias no micro-ondas, que seria importante para o cálculo da velocidade da luz com o micro-ondas.

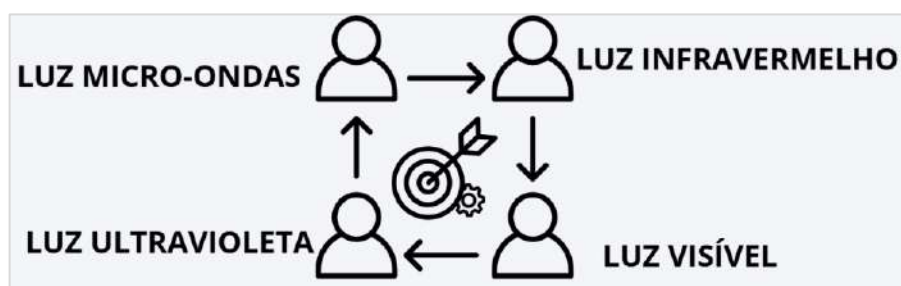
No segundo e terceiro tempos de aula de 50 minutos, começamos a desenvolver uma atividade denominada “Circuito das luzes do cotidiano”. Em equipe, formadas na aula de apresentação do produto educacional, os alunos percorreram a escola em busca das luzes de

nosso cotidiano. Tivemos 4 estações denominadas: luz visível, luz infravermelho, luz ultravioleta e luz micro-ondas. Em cada ponto da escola estava montada uma estação, na qual eles receberam uma orientação e uma atividade de observação ou experimental para realizar, posteriormente tiveram que resolver 3 a 4 questões sobre a luz em questão.

Inicialmente, foi realizada a estação da luz micro-ondas no segundo tempo, 50 minutos, a fim de que os alunos tivessem tempo suficiente para calcular a velocidade da luz com o micro-ondas. As outras 3 estações ocorreram no terceiro tempo de 50 minutos.

Nas Figuras 24 e 25 estão descritas as estações, atividades de observação e/ou experimentais e o questionário que foi fornecido na estação através de QRCode. Para responder ao questionário, solicitamos que em cada equipe pelo menos 1 aluno tivesse acesso à internet pelo celular.

Figura 24 – Estações do circuito das luzes



Fonte: Elaborado pela autora.

Em cada estação, os alunos teriam que ler um pequeno texto contendo uma abordagem sobre a luz a ser trabalhada no espectro das ondas eletromagnéticas. Enquanto um grupo estava em uma estação os demais grupos estavam nas outras estações podendo ter no máximo 2 grupos na mesma estação, seguindo a sequência ilustrada na Figura 25.

Figura 25 – Organização dos grupos no circuito das luzes



Fonte: Elaborado pela autora.

6.6.3.1 Estação luz micro-ondas

A onda de micro-ondas emitida pelo aparelho é uma onda eletromagnética. Assim, essa onda pode ser denominada “luz”, porém não visível ao olho humano, pois não está dentro da faixa do espectro visível. Assim, resolvemos demonstrar que seria possível perceber que as micro-ondas têm a mesma velocidade da luz visível. Para isso, usamos uma barra de chocolate. Para desenvolver essa atividade, um aluno de cada equipe recebeu o kit de experimento (ver Fig. 26), que consiste em 1 barra de chocolate, 1 par de luvas, 1 prato refratário, 1 régua e 1 folha para os cálculos. Para esse experimento, foi removido o prato e o suporte do prato do micro-ondas.

As páginas das estações foram impressas para todas as equipes para que os alunos pudessem ler e responder ao formulário contido no QRcode com mais facilidade.

Figura 26 – Kits estação de micro-ondas



Fonte: Elaborado pela autora.

6.6.3.1.1 Procedimento experimental

- I. Abra o kit de experimento.
- II. O aluno responsável pela colocação da barra de chocolate no aparelho de micro-ondas deve colocar as luvas.
- III. Retire o insulfilme do prato e coloque o prato com chocolate dentro do micro-ondas em posição horizontal. Registre por foto.
- IV. Ajuste o micro-ondas para um tempo de 00:20 (20 segundos).
- V. Ligue o micro-ondas e, após finalizar o tempo, retire o prato com cuidado do micro-ondas.

- VI. Verifique no chocolate os dois pontos que derreteram. Meça a distância entre os pontos onde o chocolate derreteu. Esses pontos correspondem aos picos das ondas de micro-ondas, então a distância entre eles é metade do comprimento de onda das micro-ondas. Registre em fotos a medida.

6.6.3.1.2 Cálculo da velocidade da luz

- I. Multiplique a medida por dois para determinar o comprimento de onda. Em seguida, divida por 100 para passar para metros.
- II. Multiplique o comprimento de onda pela frequência do micro-ondas (2450000000Hz)
- III. Registre por foto os cálculos que levam ao valor encontrado.
- IV. Taxa de erro: Subtraia o valor encontrado e o valor da velocidade da luz (299 792 458 m/s), em seguida divida o valor encontrado por 299 792 458 m/s, que é a velocidade da luz, e multiplique por 100.
- V. Aponte o celular para o QR Code e faça o que se pede no formulário.

6.6.3.1.3 Questões sobre a luz micro-ondas

Em cada estação estava a atividade a ser desenvolvida e um QRcode com as questões sobre a estação. Na estação de micro-ondas tivemos as seguintes solicitações:

- I. Anexe as fotos do seu experimento.
- II. Qual foi o valor da velocidade da luz encontrada? Anexe a imagem do cálculo da velocidade da luz.
- III. Qual foi a porcentagem da taxa de erro do seu experimento? Anexe a foto do cálculo da taxa de erro.
- IV. Explique por que o micro-ondas consegue cozinhar, derreter, descongelar alimentos.

6.6.3.2 Estação luz visível

Nessa estação, os alunos receberam um pequeno texto explicando a faixa de comprimento de onda visível pelo ser humano e que a luz branca é uma combinação das luzes no espectro visível. Nessa estação, a professora regente estava próxima à estação para dar

suporte à atividade. Assim, essa estação teve por objetivo visualizar o espectro contínuo de luz. Essa estação foi desenvolvida em uma estação em frente ao laboratório de Ciências, com a radiação da luz solar que incidia no local. Realizamos essa atividade em dois momentos, um para cada turma: próximo às 9h e próximo às 15h. Nos dois horários foi possível visualizar o espectro de luz. Para o experimento, foram colocados os materiais em uma caixa:

- I. Um prisma de vidro.
- II. Luz do sol.
- III. Uma folha de papel branco.

6.6.3.2.1 Procedimento

- I. Coloque a folha de papel branco em uma superfície em que o sol esteja incidindo.
- II. Posicione o prisma com o raio do sol que está chegando no papel.
- III. Procure o espectro contínuo de luz que se dispersou da luz que atravessou o prisma.
- IV. Observe o espectro de cores que aparece na folha de papel. Você deve ver as cores do arco-íris: vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, anil e violeta.
- V. Registre por foto o espectro contínuo de luz que foi visualizado.
- VI. Desmonte o experimento e coloque-o de volta na caixa para a realização do experimento por outra equipe.

6.6.3.2.2 Questões sobre a luz visível

A atividade desenvolvida está expressa em um formulário que pode ser acessado por meio de um QR code com as questões a seguir sobre a estação:

- I. Escreva as cores que vocês conseguiram visualizar no experimento.
- II. O que é a dispersão da luz?
- III. Anexe a foto do experimento.

6.6.3.3 Estação luz infravermelho

Nessa estação os alunos receberam um texto explicando sobre a luz infravermelha, explicando as aplicações dos termômetros infravermelhos na medicina, entre outras aplicações dessa luz em nosso cotidiano. Essa estação estava localizada dentro da biblioteca/sala de

multimeios. Para a realização dessa estação, contamos com a participação de nossa regente de biblioteca, Maria Lucineide Freire de Almeida, a qual facilitou a atividade para os alunos, fornecendo e orientando quando possível. Essa aula teve por objetivo visualizar a luz infravermelha, através de controle remoto com a câmara de celular, e percebê-la pelo termômetro infravermelho nas paredes interna e externas do ambiente de aprendizagem.

6.6.3.3.1 Procedimento

- I. Pegue o controle remoto e aponte o LED do controle para a câmara do celular.
- II. Aperte uma tecla do controle remoto e visualize a cor infravermelho que é detectada pela câmara do celular.
- III. Registre por foto a luz do LED acesa no controle remoto.
- IV. Pegue o termômetro que registra a temperatura por radiação infravermelha e registre a temperatura da parede interna e externa da biblioteca.
- V. Anote os resultados.
- VI. Devolva os materiais para dentro da caixa para a realização do experimento por outra equipe.
- VII. Aponte o celular para o QR code e responda às questões sobre a luz infravermelha.

6.6.3.3.2 Questões sobre a estação infravermelho

As questões que continham no formulário do QR code temos:

- I. Por que não conseguimos visualizar o LED do controle remoto acendendo apenas com os olhos?
- II. Anexe a foto do registro do LED infravermelho funcionando.
- III. Registre os valores encontrados nas temperaturas da parede interna e externa da biblioteca.
- IV. Explique a diferença de temperatura entre a parede interna e externa da biblioteca. Que lado da parede está com temperatura mais alta e por quê?

6.6.3.4 Estação luz ultravioleta

Nessa estação, os alunos receberam um pequeno texto sobre a presença da luz ultravioleta, o qual tem em sua descrição uma variedade de aplicações no cotidiano. Essa pode ser vista em nosso cotidiano em alguns objetos que possuem substâncias fluorescentes. Os protetores solares são importantes para evitar danos na exposição ao sol. Essa estação foi desenvolvida dentro do laboratório de ciências, com o objetivo de entender mais sobre a luz ultravioleta (UV) e identificar a presença de elementos fluorescentes na exposição à luz ultravioleta.

Para desenvolver esse experimento de observação, foram disponibilizados os equipamentos mostrados na Fig. 27:

- I. Lanterna de luz ultravioleta.
- II. Óculos de proteção.

Material de experimentação disponível na bancada:

- I. 2 Becker de 25ml
- II. água tônica
- III. água da torneira
- IV. nota de 2,00
- V. Protetor solar
- VI. Pincel

Figura 27 – Material de experimentação para perceber a luz ultravioleta



Fonte: Elaborado pela autora.

6.6.3.4.1 Procedimento

- I. Coloquem os óculos de proteção.

- II. Aponte a lanterna para os materiais da bancada e identifique aqueles que mudaram de cor (registre por foto).
- III. Com um pincel, cada componente da equipe faz um desenho em um papel branco usando protetor solar. Registre a foto. Em seguida aponte a lanterna e veja o que aconteceu (registre foto).
- IV. Em seguida, coloque a lanterna na nota de R\$ 2,00.
- V. Observe as unhas dos componentes da equipe.
- VI. Aponte a câmera do seu celular para o QR code e responda às informações que se pede.

6.6.3.4.2 Questões sobre a luz ultravioleta

Para essa estação, foi solicitado aos alunos que lessem o QR code pelo celular e respondessem às seguintes perguntas:

- I. Anexe o registro das fotos dos materiais líquidos iluminados pela lanterna de UV.
- II. Anexe o registro por foto de como as folhas com protetor solar ficaram ao serem iluminadas pela lanterna de UV.
- III. A água tônica mudou de cor? Se sim, pesquise na internet e responda: que substância fez a água tônica mudar de cor?
- IV. Em relação à nota de R\$ 2,00, houve alguma alteração quando essa foi exposta à luz ultravioleta? Se sim, para que serve essa mudança de cor nas notas?

6.6.4 Aula 2: Fóton

Após a definição do conceito de luz com ondas, passamos ao conceito de luz como partícula. Organizamos essa aula em dois tempos de 50 minutos. Nossos objetivos para os primeiros 50 minutos de aula foram apresentar a teoria corpuscular em seus aspectos históricos através do conceito de dualidade onda-partícula. Após essas definições, apresentamos o conceito de fóton e o efeito fotoelétrico.

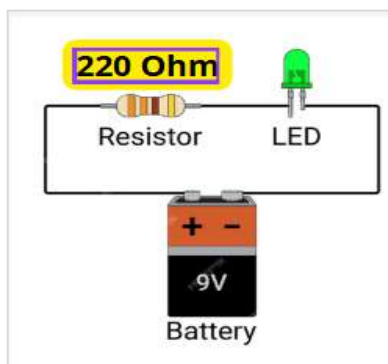
O segundo tempo de aula teve por objetivo construir uma placa com um circuito de LEDs para identificar o efeito fotoelétrico através do registro da diferença de potencial observada em um multímetro, quando a placa estava exposta ao sol. Essa atividade denominada

“caçador de elétrons” ficou organizada em 3 estações, em que duas dessas foram desenvolvidas em sala de aula e uma no dia posterior a montagem do circuito de LEDs.

6.6.4.1 Estação 1: conhecendo os elétrons

Na primeira estação, denominada “Conhecendo o elétron”, o grupo de alunos recebeu um kit (ver Figura 29) para identificar a cor dos LEDs que seriam utilizadas em sua placa de leds. Nessa atividade, o grupo construiu um circuito elétrico para ligar um único LED, como ilustrado na Figura 28. Com base na ligação do circuito, os alunos conseguiram perceber que, com a diferença de potencial da bateria, a passagem da corrente de elétrons liga o LED, esse LED, por sua vez representa a e a cor da sua equipe. Ou seja, a cor do LED encontrado será a cor usada na construção da placa de LEDs, que será montada na próxima atividade.

Figura 28 – Conhecendo o circuito elétrico



Fonte: Elaborado pela autora.

6.6.4.1.1 Materiais disponibilizados para cada equipe

- I. 1 LED (Diodo Emissor de Luz)
- II. 1 resistor de 220 ohms.
- III. 1 Bateria de 9V.
- IV. 2 fios de conexão.
- V. 1 conector de bateria de 9V.

Figura 29 – Kits da estação descobrindo o elétron



Fonte: Elaborado pela autora.

6.6.4.1.2 Procedimento

- I. Conecte um lado do resistor a um dos terminais da bateria usando um fio de conexão, fixe com um pouco de solda.
- II. Conecte o outro lado do resistor ao terminal mais longo (ânodo) do LED. O terminal mais longo do LED é geralmente o positivo, prenda-o através de um pedaço de fita isolante.
- III. Conecte o terminal mais curto (cátodo) do LED ao outro terminal da bateria usando o segundo fio de conexão, prenda através de um pedaço de fita isolante.
- IV. Quando você completar o circuito, o LED deve acender.
- V. Inverta os fios conectores do LED e verifique se o circuito acende a luz.

6.6.4.1.3 Formulário Estação 1 – Aula 2

- I. Anexe fotos do procedimento.
- II. 2. Qual foi a cor do LED? Essa cor será a cor da equipe a partir de agora.
- III. 3. O que aconteceu ao ligar os polos do LED invertido?

6.6.4.2 Estação 2: o efeito fotoelétrico

Nesta estação, os alunos receberão um KIT PLACA SOLAR (ver Figura 30) para construir uma placa solar simples usando LEDs de uma única cor. Eles conectaram os LEDs em forma de circuito, em que os LEDs foram colocados no papelão e conectados em ligações paralelas, seguindo a orientação que estava representada no material. Também foram colocado um capacitor em paralelo, para que armazenassem uma corrente que fornecesse valores mais estáveis ao multímetro. Os terminais positivos e negativos foram ligados a um multímetro para verificar a diferença de potencial entre os polos quando essa placa foi exposta ao sol.

6.6.4.2.1 Kit placa solar

- I. 1 pedaço de papelão 6 cm X 5cm com as marcações.
- II. 6 LEDs da cor da equipe.
- III. 1 par de 30 cm de fios de cobre.
- IV. 1 ferro de solda.
- V. Fio de Estanho.
- VI. 1 capacitor de 10 F e 50V.
- VII. 1 multímetro
- VIII. Conectores Jacaré

Figura 30 – Kits da estação efeito fotoelétrico



Fonte: Elaborado pela autora.

6.6.4.2.2 Procedimento

- I. Abra o kit e siga as instruções. Não esqueça de registrar por fotos os procedimentos.
- II. Identifique as polaridades do LED, em que as pernas maiores é o positivo e a menor é o negativo, ver Figura 31.

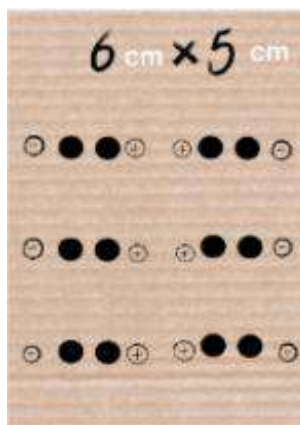
Figura 31 – Polos do LED



Fonte: Elaborado pela autora.

- III. Coloque as pernas dos LEDs no papelão nas indicações, como mostra a Figura 32.

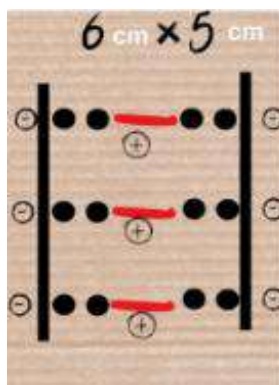
Figura 32 – Indicação de onde colocar cada polo do LED



Fonte: Elaborado pela autora.

- IV. Dobre as pernas dos LEDs, os positivos na direção do centro do papelão na horizontal, como está na cor vermelha do esquema ao lado, e os negativos na direção vertical, como está na linha de cor preta do esquema da Figura 33.

Figura 33 – Como colocar cada polo do LED



Fonte: Elaborado pela autora.

- V. Junte as pernas dos LEDs com solda, usando o ferro de solda e o fio de estanho. Peça ajuda ao professor(a) se precisar.
- VI. Pegue o fio vermelho, retire o plástico de uma pequena parte do fio em uma das pontas e solde perpendicularmente nas três linhas de conexão horizontais das pernas positivas.
- VII. Pegue o fio preto, retire o plástico de uma pequena parte da ponta do fio, retire também uma pequena parte do plástico de 5cm da ponta do fio. Solde

perpendicular à ponta em um polo negativo e a parte 5cm de distância do ponto no outro polo negativo.

- VIII. Identifique os polos do capacitor.
- IX. Conecte o capacitor em paralelo com as pernas soldadas em seus respectivos polos.
- X. Com um conector garra jacaré, conecte os fios dos polos em um multímetro na função Voltímetro de até 10V.
- XI. Com um conector garra jacaré, conecte os fios dos polos em um multímetro para o teste. Posicione na função Voltímetro de até 10V.
- XII. Exponha a placa ao sol e verifique se o multímetro registra diferença de potencial no multímetro.
- XIII. Aponte a câmera para o QR code e anexe as fotos do procedimento. Responda à questão.

6.6.4.2.3 Formulário Estação 2

- I. Anexe pelo menos 3 fotos do procedimento.
- II. Foi possível identificar DDP após o procedimento? Se não, o que aconteceu para não ter ocorrido a DDP?

6.6.4.3 Estação 3: *caçadores de fótons*

Nesta estação, foi organizada para os alunos desenvolverem, no dia posterior, a construção da placa de LED. Essa escolha estava relacionada à professora regente passar o dia na escola com os alunos que estudam em tempo integral. Os alunos tiveram que caçar fótons em um horário e dia determinados pelo professor. Nesse, os alunos verificaram a DDP da placa no jardim na frente da direção nos horários de 9h, 12h e 15h. Após registrar esses valores, deveriam enviar os valores através de um formulário que estava no QR code colado na sala de aula dos alunos.

6.6.4.3.1 Procedimento

- I. Direcione a placa para o sol em um ângulo de aproximadamente 45° do solo e registre a tensão nos seguintes horários: 9h, 12h, 15h.

- II. Registre por foto as medidas.
- III. Leia o QR code que está fixo na porta da sala e registre suas respostas.

6.6.4.3.2 Formulário Estação 3

- I. Qual foi a data da verificação?
- II. Descreva o tempo: Com nuvem, sem nuvem?
- III. Escreva a tensão gerada às 9h. Faça três medições e registre a média.
- IV. Escreva a tensão gerada às 12h. Faça três medições e registre a média.

6.6.5 Aula 3: Salto Quântico

A aula de Salto Quântico foi desenvolvida para que os alunos pudessem perceber a emissão de luz quando um átomo recebe energia. Assim, para aprimorar o conhecimento dos alunos, essa aula foi elaborada para que os alunos percebessem a cor emitida por sais ao serem aquecidos.

Essa aula teve por objetivo auxiliar os alunos na compreensão de como a matéria é capaz de emitir fótons, analisar o salto quântico com base no modelo de Bohr e observar a emissão de luz estimulada como a realizada no teste da chama. Assim apresentamos o conceito de matéria, levando ao contexto histórico da teoria atômica e mostrando os modelos atômicos de Dalton a Bohr. Discutimos especificamente o átomo de Bohr, pautados nas ideias de distribuição eletrônica e na emissão estimulada de fótons. Aplicamos a prática experimental do teste da chama para que os alunos fossem capazes de correlacionar as transições eletrônicas ao salto quântico.

A aula estava dividida em 2 tempos de 50 minutos. No primeiro tempo, o material está organizado para a explanação dos conceitos associados à teoria atômica, modelos atômicos, postulados de Bohr, transição eletrônica, absorção e emissão de fótons e emissão estimulada associada à cor emitida pelos fótons.

O segundo tempo de aula foi organizado para desenvolver uma atividade denominada: “Espectroscopia Viva: O Enigma das Chamas Coloridas”. Nessa atividade, os alunos serão capazes de entender, através do teste da chama, uma demonstração prática para explicar os conceitos fundamentais da física atômica.

No teste da chama, os elétrons dos átomos da amostra são excitados ao serem aquecidos pela chama. Isso significa que os elétrons absorvem energia e saltam para níveis de

energia mais altos. Assim sendo, faremos o enigma dos sais com base na espectroscopia da cor liberada por esses sais ao serem aquecidos.

Nesta aula, as quatro equipes receberam equipamentos de proteção, tais como óculos de proteção para todos os alunos, um jaleco por equipe. Orientou-se que todos os alunos estivessem de calça e tênis. Como o objetivo era identificar o elemento químico presente no sal que emite luz ao ser estimulado quando ativado pelo calor, cada estação estava equipada com um sal dentro de um Becker em cada estação numerada de 1 a 4, na qual cada equipe colocava um pouco de sal em um cadinho, algumas gotas de álcool e ativava o sal através do calor com um isqueiro de bico longo. Ao ativar o sal, os alunos identificavam a cor e preenchiam uma tabela com a cor observada.

Para essa atividade foram usados os seguintes sais: Cloreto de Sódio (NaCl), Cloreto de Bário (BaCl_2), Sulfato de Cobre II (CuSO_4), Bicarbonato de Sódio (NaHCO_3), os quais apresentam as cores associadas à Figura 34.

Figura 34 – Cores emitidas pelos sais no teste da chama

Amostras	Coloração
Bicarbonato de Sódio	Laranja
Cloreto de Bário (BaCl_2)	Vermelho claro
Sulfato de Cobre II (CuSO_4)	Verde
Cloreto de Sódio (NaCl)	Amarela

Fonte: Maciel e Leite (2019).

6.6.5.1 Espectroscopia viva: o enigma das chamas coloridas

Essa atividade relaciona o aquecimento de sais para verificar a emissão de radiação pelos átomos quando esses retornam para sua camada de origem, assim organizamos a bancada em 4 pontos específicos em que cada um desses pontos foi chamado de estação. Assim, as equipes rotacionaram em cada estação, fazendo o teste da chama e verificando a cor emitida por cada sal.

Para a realização dessa atividade, foi importante a realização de testes com os sais alguns dias antes, a fim de verificar se o sal realmente estava emitindo a cor especificada na tabela. Assim, destinamos 1 sal para cada estação e, posteriormente, projetamos no quadro as cores de cada sal e os alunos verificam as cores, identificando os sais que foram usados.

A seguir imagens de como ficou as estações na Figura 35:

Figura 35 – Estações do teste da chama



Fonte: Elaborado pela autora.

Materiais:

- I. Equipamento de proteção.
- II. Óculos de proteção.
- III. Luvas.
- IV. 1 jaleco por equipe.
- V. 8 almofarizes.
- VI. Álcool 70° em um recipiente de conta gotas.
- VII. Isqueiro de bico longo.
- VIII. Becker com sais.
- IX. Espátula.

Observação: Os sais estão dispostos na bancada em cada estação dentro de um Becker numerados de 1 a 4 de acordo com a estação.

6.6.5.1.1 Procedimento para as Estações de 1 a 4

- I. Registre em fotos o procedimento.
- II. Coloquem os óculos de proteção, luvas e máscaras.
- III. O componente da equipe que for manusear o sal do experimento coloca o jaleco.
- IV. O componente da equipe com o Jaleco coloca uma colherinha de sal no almofariz numerado de acordo com o sal. Exemplo: Almofariz 1 - sal 1
- V. Coloque 3 três gotas de álcool e acenda com o isqueiro de bico longo.
- VI. Observe a cor e registre na tabela da questão 1.
- VII. Ao final, lave o almofariz e seque com papel toalha para deixa-lo limpo para cada próxima equipe.

6.6.5.1.2 Formulário de registro

- I. Classifique a cor com base na referência: Amarelo, Vermelho, Verde ou Laranja na Figura 36.

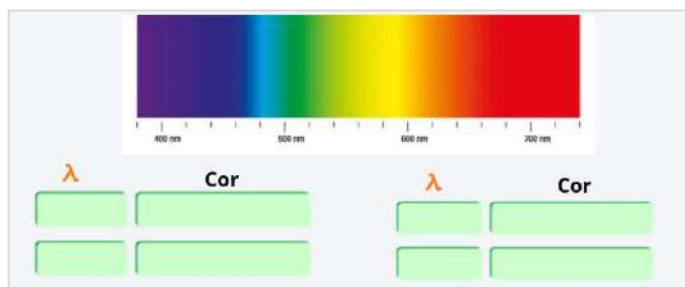
Figura 36 – Registro de cores

Cor		Cor	
1		3	
2		4	

Fonte: Elaborado pela autora.

- II. Observe o espectro visível e associe o comprimento à cor na Figura 37.

Figura 37 – Registro de comprimentos de onda



Fonte: Elaborado pela autora.

- III. Associe ao sal o comprimento de onda. A identificação da cor estará associada à tabela de cores que será fornecida em sala de aula na Figura 38.

Figura 38 – Registro de composto químico

λ			λ		
1			3		
2			4		

Fonte: Elaborado pela autora.

6.6.6 Aula 4: Física dos materiais e o funcionamento do LED (diodo emissor de luz)

Com a compreensão dos fótons, da emissão de luz, das baterias e do movimento dos elétrons, a Física começou a ganhar novas aplicações. Avançou para a ciência dos materiais, com o objetivo de criar equipamentos que facilitassem o cotidiano das pessoas. Assim se

começou a desenvolver a eletrônica através do desenvolvimento de materiais capazes de conduzir os elétrons transformando-os em outro tipo de energia, tais como luminosa, sonora, entre outras.

Pautados nessa ideia, desenvolvemos uma aula que trouxe para os alunos o contexto histórico da eletrônica e seus avanços até o desenvolvimento do LED e, posteriormente, o laser. Assim, a aula 4, denominada “Física dos Materiais e o funcionamento do LED (Diodo emissor de luz)”, teve por objetivo: conhecer um pouco da eletrônica, classificar os materiais, compreender o que é um semicondutor, identificar de que é feito os LEDs.

A aula foi dividida em dois tempos de 50 minutos conjugados, porém ao explicar o conteúdo identificamos que o mesmo, por ser extenso, durou cerca de 80 minutos, ficando apenas 20 minutos para a execução da atividade experimental. A primeira parte da aula foi denominada “semicondutores” e na segunda parte da aula foi desenvolvida a atividade: de que é constituído o LED?

No primeiro momento de aula, desenvolvemos uma introdução à história da eletrônica em que falamos um pouco do desenvolvimento das válvulas aos transistores, até os diodos, circuitos integrados e as aplicações dos semicondutores. Assim se desenvolveu a Física do estado sólido. Abordamos os dispositivos eletrônicos, as propriedades ópticas dos materiais, a energia de gap, também explicamos bandas de energia com a banda de valência e a banda de condução e, com isso, classificamos os isolantes, semicondutores e condutores com base nas bandas de energia e na energia de gap.

Os semicondutores tiveram destaque nessa aula, em que abordamos a recombinação de pares elétrons-buracos, trazendo as classificações de semicondutores intrínsecos e extrínsecos, sendo esses últimos do tipo n e o tipo p. Também fizemos uma breve explicação sobre os semicondutores compostos, demonstrando os diversos dispositivos semicondutores.

Assim trouxemos o conceito de poço potencial infinito para a explicação da emissão de luz pela matéria e demonstramos de que é constituído o LED, a partir de todos os dispositivos que são formados, enfatizando a recombinação dos pares elétrons-buracos que é fundamental para a emissão de luz. Por fim, explicamos que cada composto químico é capaz de emitir uma determinada luz e seguimos para a parte prática da aula.

6.6.6.1 Atividade explorando cores: descobrindo os segredos dos LEDs

Diante de nosso estudo sobre semicondutores, resolvemos explorar as cores dos LEDs, identificando de que eles são feitos. Apresentaremos um circuito montado em uma placa

de protoboard em que os alunos substituem o LED e identificam as cores. Com base na tabela da Figura 39, as equipes catalogaram aproximadamente do que é feito o LED a partir de suas observações.

Figura 39 – Tabela de elementos do LED

Tabela de cores					
Comp. Onda (nm)	Cor	Tensão Fwd (Vf@20ma)	Intensidade 5mm LEDs	Ang°	LED Material
940	Infravermelho	1.5	16mW @50mA	15°	GaAlAs/GaAs
880	Infravermelho	1.7	18mW @50mA	15°	GaAlAs/GaAs
850	Infravermelho	1.7	29mW @50mA	15°	GaAlAs/GaAs
660	Ultra Red	1.8	2000mcd @50mA	15°	GaAlAs/GaAs
635	High Efficiency Red	2.0	200mcd @20mA	15°	GaAsP/GaP
633	Super Red	2.2	3500mcd @20mA	15°	InGaAlP
620	Super Orange	2.2	4500mcd @20mA	15°	InGaAlP
612	Super Orange	2.2	6500mcd @20mA	15°	InGaAlP
605	Orange	2.1	1600mcd @20mA	15°	GaAsP/GaP
595	Super Yellow	2.2	5500mcd @20mA	15°	InGaAlP
592	Super Pure Yellow	2.1	7000mcd @20mA	15°	InGaAlP
585	Yellow	2.1	100mcd @20mA	15°	GaAsP/GaP
4500K	"Incandescent" White	3.6	2000mcd @20mA	20°	SiC/GaN
6500K	Pale White	3.6	4000mcd @20mA	20°	SiC/GaN
8000K	Cool White	3.6	6000mcd @20mA	20°	SiC/GaN
574	Super Lime Yellow	2.4	1000mcd @20mA	15°	InGaAlP
570	Super Lime Green	2.0	1000mcd @20mA	15°	InGaAlP
565	High Efficiency Green	2.1	200mcd @20mA	15°	GaP/GaP
560	Super Pure Green	2.1	350mcd @20mA	15°	InGaAlP
555	Pure Green	2.1	80mcd @20mA	15°	GaP/GaP
525	Aqua Green	3.5	10,000mcd @20mA	15°	SiC/GaN
505	Blue Green	3.5	2000mcd @20mA	45°	SiC/GaN
470	Super Blue	3.6	3000mcd @20mA	15°	SiC/GaN
430	Ultra Blue	3.8	100mcd @20mA	15°	SiC/GaN

Fonte: Elaborado pela autora.

Materiais (ver Figura 40):

Kit de experimento:

- I. Placa de protoboard.
- II. Bateria 9V.
- III. 4 pares: Resistor e LED de bulbo transparente numerados de 1 a 4.
- IV. 1 conector de bateria 9V.

Figura 40 – Kit para o circuito de LED



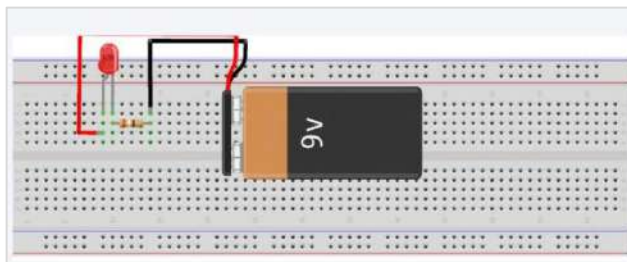
Fonte: Elaborado pela autora.

Orientações (ver Figura 41):

- I. Conecte o conector de bateria no protoboard.

- II. Conecte o par resistor e LED.
- III. Conecte a bateria de 9V no conector de bateria.

Figura 41 – Circuito de LED



Fonte: Elaborado pela autora.

- IV. Verifique a cor e anote, registre em foto.
- V. Repita os procedimentos 2, 3, 4 e 5 para os outros 3 pares de LED – resistor.
- VI. Após a realização do experimento, aponte a câmera para o QR code e preencha o formulário.

6.6.6.1.1 Formulário – LED – Aula 4

- I. Anexe fotos do procedimento.
- II. Identifique a cor que foi encontrada em cada LED (Ver Figura 42).

Figura 42 – Registro da cor do LED

1	
2	
3	
4	

Fonte: Elaborado pela autora.

- III. Com base na tabela, escreva de que é constituído cada LED (Ver Figura 43).

Figura 43 – Registro da composição química do LED

1	
2	
3	
4	

Fonte: Elaborado pela autora.

IV. Formulem um texto explicando como foi aprender sobre semicondutores e os LEDs.

6.6.7 Aula 5: Laser: emissão de luz estimulada por radiação

A proposta de nosso produto educacional esteve centrada na ideia de trazer a compreensão do funcionamento do laser a partir do conceito de luz. Assim, a aula 5 trouxe aos alunos o funcionamento do laser. Essa teve por objetivo compreender um pouco da história do laser, correlacionar os elementos atômicos e a emissão de luz, compreender como acontece a emissão estimulada de luz por radiação e analisar a colimação da luz laser em contraste com a luz de um LED.

A aula foi dividida em dois tempos de 50 minutos. No primeiro momento, apresentamos a história do laser, trazendo o conceito de maser, em que, a partir das tecnologias aplicadas a esse, foi desenvolvido o laser. Assim, abordamos a transição do Maser para o Laser e a criação do primeiro Laser. Abordamos a emissão estimulada de luz e a cavidade de ressonância, nesse momento apresentamos um material de ressonância que temos no laboratório de ciências.

A partir dessas explicações, apresentamos o funcionamento, inicialmente os componentes do laser: meio ativo, fonte de energia e sistema de ressonância. Completamos explicando o funcionamento através do processo de operação: bombeamento de energia, emissão espontânea, emissão estimulada, amplificação da luz e emissão do feixe de luz. Por fim, apresentamos os tipos de laser: laser de estado sólido, laser de gás, laser de fibra, laser de líquido e laser semicondutor.

6.6.7.1 Conflito de feixes: descobrindo a colimação

Nesta atividade, os alunos compararam a luz emitida por um laser e a luz emitida por uma lanterna com um LED. O objetivo da atividade era observar como o feixe do laser permanece colimado (paralelo) ao longo de distâncias maiores em comparação ao feixe do LED. Assim, o experimento trouxe para os alunos uma compreensão da diferença entre essas duas fontes de luz.

6.6.7.2 Procedimento

Configuração Inicial:

- I. Coloque tanto o ponteiro laser quanto a lanterna LED em posições fixas, lado a lado, apontando-os em linha reta ao longo de uma mesa ou de uma bancada.
- II. Certifique-se de que ambos estejam alinhados na mesma direção e que seus feixes possam ser projetados nos papéis.

Medição da Largura do Feixe com o Laser:

- I. Coloque o primeiro papel branco a uma distância curta do laser, como 10 cm.
- II. Ligue o laser e marque no papel o tamanho do ponto de luz.
- III. Repita a medição com o segundo papel colocado a uma distância maior, como 50cm.
- IV. Continue repetindo em distâncias progressivamente maiores, como 1 metro e 1,5 metros.

Medição da Largura do Feixe com a Lanterna LED:

- I. Repita o mesmo processo com a lanterna LED, alinhando o feixe no centro dos papéis.
- II. Marque o tamanho do ponto de luz no papel em cada distância (10 cm, 50 cm, 1m e 1,5m).

Observação e Comparação:

- I. Compare o tamanho dos pontos de luz projetados pelo laser e pela lanterna LED em cada uma das distâncias.
- II. O laser deve manter um feixe colimado, com pouca ou nenhuma variação no tamanho do ponto de luz.

III. A lanterna LED, por outro lado, deve mostrar uma dispersão significativa, com o ponto de luz aumentando de tamanho à medida que a distância do papel aumenta.

IV. Aponte a câmera para o QR code e discuta os resultados no formulário.

A atividade foi realizada na sala de matemática, pois ela é a mais escura que temos na escola. As equipes receberam um ponteiro laser, uma lanterna com um LED sem a lente de amplificação e, para a projeção, adaptamos o papel branco para o quadro branco da sala. Foi realizada a marcação das distâncias do quadro branco que foram emitidas à luz. Adaptamos essas medidas para 20cm, 50cm, 1m e 1,5. Realizamos a medidas nos pontos separadamente, cada equipe fez as medidas, primeiro da lanterna led e depois do ponteiro laser. Foi fornecido aos alunos óculos de proteção contra radiação. Após a atividade, foi solicitado aos alunos que esses respondessem ao formulário.

6.6.7.2.1 Formulário

- I. Anexe fotos do procedimento.
- II. Qual foi o diâmetro da circunferência do feixe de LASER para as distâncias de 20 cm, 50 cm, 1m e 1,5 m?
- III. Qual foi o diâmetro da circunferência do feixe da lanterna para as distâncias de 20 cm, 50 cm, 1 m e 1,5 m?
- IV. Por que acontece essa diferença entre os feixes de luz?

6.6.8 Aula 6: Aplicações dos LEDS x laser e avaliação final do produto

Essa aula foi a finalização de nosso produto educacional, assim buscamos nessa realizar uma atividade interativa na busca de identificar a aplicação das tecnologias estudadas no produto educacional, com isso sugerimos que os alunos em suas equipes apresentassem um trabalho com um protótipo criado por eles para mostrar o funcionamento do led e do laser. Ao final da aula, aplicamos a avaliação dos trabalhos desenvolvidos durante todo o produto educacional, com a reaplicação da avaliação diagnóstica e um formulário que buscava identificar a compreensão dos alunos em relação ao tema.

A aula foi dividida em dois tempos de 50 minutos. No primeiro tempo, foi sugerido aos alunos que realizassem a atividade caça ao tesouro tecnológico, em que cada equipe fez um trabalho em equipe. A proposta era discutir sobre a aplicação do LED e laser, criar um mapa

mental e criar um protótipo do equipamento que contivesse laser ou LED. Dividimos as quatro equipes de cada turma, em que duas equipes trabalham com LED e duas para trabalharem com laser. O maior desafio foi a criação do design do produto em que apenas uma turma, usando a inteligência artificial, trouxe um protótipo.

Ao final da pesquisa, criação do mapa conceitual e desafio do protótipo, os alunos fizeram uma breve apresentação para a sala e seguimos para a avaliação final do produto educacional.

6.6.8.1 Avaliação Final

Ao término de todas as atividades, realizamos uma avaliação final que buscou identificar o quanto os alunos conseguiram aprender sobre o funcionamento dos Laser e LED e avaliar as atividades desenvolvidas. Essa foi dividida em dois momentos em que, no primeiro momento, os alunos, individualmente, responderam a um formulário contendo as mesmas questões da avaliação diagnóstica, a fim de observarmos o quanto os alunos aprendem sobre o tema.

No segundo momento, os alunos também foram submetidos a uma autoavaliação sobre as aplicações práticas do produto educacional, em que esta estava baseada na escala Likert. Nessa cada pergunta deve ser respondida usando a escala da Figura 44.

Figura 44 – Escala Likert



Fonte: Elaborado pela autora.

As perguntas estavam organizadas com base em cada aula:

- 1º Ondas Eletromagnéticas:
 - I. Eu entendo claramente a diferença entre luz visível e outras formas de radiação eletromagnética.
- 2º Efeito Fotoelétrico:

- I. Eu consigo explicar como o efeito fotoelétrico contribui para o funcionamento dos LEDs.
- 3º Salto Quântico:
 - I. Eu compreendo como os saltos quânticos em um átomo estão relacionados à emissão de luz nos LEDs.
- 4º Funcionamento dos LEDs:
 - I. Eu estou confiante em minha habilidade de explicar o princípio de funcionamento dos LEDs.
- 5º Funcionamento dos lasers:
 - I. Eu entendo a importância da emissão estimulada no funcionamento dos lasers.
- 6º Comparação entre LEDs e Lasers:
 - I. Eu posso descrever claramente a principal diferença no mecanismo de emissão de luz entre LEDs e lasers.
- 7º Aplicações Práticas:
 - I. Eu sou capaz de identificar e explicar pelo menos três aplicações práticas tanto para LEDs quanto para lasers.
- 8º Eficiência Energética:
 - I. Eu compreendo por que os LEDs são considerados mais eficientes energeticamente em comparação com as lâmpadas incandescentes.

7 APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

A aplicação do produto educacional nos trouxe resultados essenciais para avaliar a aplicação dos experimentos e questionários com base nas teorias de Piaget e Vygotsky. Tivemos como base a assimilação e acomodação das informações dos conceitos de luz, efeito fotoelétrico, salto quântico, LEDs e lasers, que foram eficazes para o ensino do funcionamento do laser no nível médio. Para isso, foram coletadas informações por meio do questionário diagnóstico e questionário das atividades experimentais, além da participação dos alunos ao longo da sequência didática.

Apresentamos nesse capítulo a discussão dos resultados obtidos e buscamos identificar o impacto da metodologia ativa de rotação por estação e da cultura maker na aprendizagem dos alunos. Com isso, focamos nossa análise em identificar se os resultados das aulas trouxeram a evolução conceitual dos estudantes e os desafios encontrados durante a implementação do produto educacional.

Para a análise dos dados, descreveremos os resultados obtidos nos questionários aplicados em cada aula, buscando validar nossa hipótese sobre o processo de assimilação e acomodação das ideias que levam à compreensão do funcionamento do laser. Partimos do princípio de que, ao reconhecer o laser como uma fonte de luz, sua compreensão se torna mais acessível. Considerando que a luz apresenta tanto caráter ondulatório quanto corpuscular, torna-se essencial explorar o efeito fotoelétrico, pois é por meio desse fenômeno que se evidencia a existência dos fótons, fundamentais para a compreensão do laser.

Além disso, ao abordar o conceito de salto quântico, analisamos o comportamento dos elétrons nos diferentes níveis de energia, permitindo uma melhor compreensão da emissão de luz em dispositivos como LEDs e lasers. Dessa forma, a sequência didática adotada estabelece uma progressão conceitual, conectando os temas luz, efeito fotoelétrico, salto quântico e emissão estimulada de radiação, proporcionando aos alunos uma base estruturada para a assimilação do funcionamento do laser.

Seguiremos a análise na mesma ordem da sequência didática. No entanto, para uma avaliação mais aprofundada da compreensão dos alunos, optamos por analisar o questionário diagnóstico juntamente com o questionário da avaliação final, que contém as mesmas questões. Essa abordagem nos permitirá comparar os resultados e verificar se houve progresso na assimilação dos conceitos abordados ao longo das aulas. Pois, ao comparar as respostas iniciais e finais, poderemos identificar o grau de compreensão dos estudantes e avaliar como as

informações foram gradualmente assimiladas e acomodadas, contribuindo para a construção do conhecimento sobre o funcionamento do laser.

7.1 Apresentação do produto

Na aula de apresentação do produto, foram aplicados dois formulários através de QRcode, um estava direcionado para a aceitação dos alunos na realização das atividades durante o semestre letivo da eletiva “Práticas laboratoriais de Física”. Já o segundo questionário era uma avaliação diagnóstica em que os alunos responderiam sobre alguns dos assuntos que trabalharíamos na sequência didática.

Como exposto anteriormente, resolvemos fazer a análise desse questionário no final deste capítulo. Em relação à aceitação dos alunos, foram aplicados o questionário de aceitação a 51 alunos, sendo que dois alunos responderam que não aceitavam participar das atividades, sendo um da turma A e outro da turma B. Assim, tivemos uma aceitação de 96,07% da participação efetiva dos alunos. Na formação dos grupos, tivemos 4 grupos em cada sala, formados por 4 a 6 alunos, esses foram nomeados em grupos de 1 a 8 e para a discussão dos dados, nomeamos eles em G1, G2, G3, G4, G5, G6, G7 e G8.

7.2 Aula 1: Ondas

Na aula sobre o comportamento ondulatório da luz, desenvolvemos uma atividade denominada “Circuito das luzes no cotidiano”. Nessa desenvolvemos experimentos com luz micro-ondas, luz visível, luz infravermelho e luz ultravioleta, a fim de destacar que todas as frequências pertencentes ao espectro eletromagnético também podem ser chamadas de luz.

7.2.1 Estação luz micro-ondas

Nessa estação, usamos o aparelho de micro-ondas para calcular a velocidade da luz, provando que o micro-ondas é uma luz de nosso cotidiano. Com base nos procedimentos explicados no capítulo anterior, os alunos responderam a um questionário acessado por meio de um QR code, o qual continha as questões sobre a estação. Na estação de micro-ondas tivemos as seguintes solicitações.

7.2.1.1 Anexe as fotos do seu experimento

Figura 45 – Estação micro-ondas



Fonte: Elaborado pela autora.

Os alunos na Figura 45 ao inserirem a barra de chocolate no micro-ondas sem prato e suporte e liga-lo por 20s a ondas estacionárias das micro-ondas derretem em dois pontos que são a crista da onda do micro-ondas, ou seja, metade de um comprimento de onda. Após o procedimento inicial as equipes encontraram valores de 6,5cm, 7,0cm, 7,5cm e 8,0cm, o que corresponde a comprimentos de onda com valores de 0,13m, 0,14m, 0,15m e 0,16m.

7.2.1.2 Qual foi o valor da velocidade da luz encontrada? Anexe a imagem do cálculo da velocidade da luz

Os valores para a velocidade da luz encontrados após os alunos seguirem as orientações dos procedimentos estão listados Quadro 12.

Quadro 12 – Comprimentos de onda da estação micro-ondas

Comprimento de onda	Velocidade da onda
0,13m.	318500000m/s.
0,14m.	343000000m/s.
0,15m.	367500000m/s.
0,16m.	392000000m/s.

Fonte: Elaborado pela autora.

Mais de uma equipe trabalhou com valores de 7,0cm e 7,5cm.

Figura 46 – Cálculo da velocidade da luz

Handwritten calculation for the speed of light:

$$V = \frac{2450000000}{0.14} = 17500000000$$

$$17500000000 \times 0.14 = 2450000000$$

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 47 – Cálculo da velocidade da luz 2

Handwritten calculation for the speed of light:

$$V = \frac{2 \times 7.5}{100} = 0.15 \times 2450000000 = 367.500.000$$

Fonte: Elaborado pela autora.

7.2.1.3 Qual foi a porcentagem da taxa de erro do seu experimento? Anexe a foto do cálculo da taxa de erro

A taxa de erro pode ser calculada ao fazer a diferença entre a velocidade encontrada e a velocidade da luz e, posteriormente, fazer a relação do resultado.

$$\text{Taxa de erro}(\%) = \frac{V_{\text{encontrada}} - V_{\text{luz}}}{V_{\text{luz}}} \times 100 \quad (60)$$

Assim como os dados obtidos pelos alunos, foram encontradas as taxas de erros do Quadro 13.

Quadro 13 – Taxa de erro (%)

Comprimento de onda	Velocidade da onda	Taxa de erro (%)
0,13m.	318500000m/s.	6%
0,14m.	343000000m/s.	14%
0,15m.	367500000m/s.	22%
0,16m.	392000000m/s.	30%

Fonte: Elaborado pela autora.

As fotos dos cálculos realizados pelas equipes estão nas Figuras 48 a 49.

Figura 48 – Cálculo da taxa de erro

$$V = \frac{2 \times 7,5}{100} = 0,15 \times 2450000000 = 367.500.000$$

$$\frac{367.500.000}{299.792.458} = 0,22$$

$$0,22 \times 100 = 22\%$$

Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 49 – Cálculo da taxa de erro 2

$$0,13 \times 2450000000 = 318.500.000$$

$$\frac{318.500.000}{299.792.458} = 0,06$$

$$\frac{0,06}{100} = 0,06\%$$

$$- 299.792.458 \times 0,06 = 18.707.542$$

Fonte: Elaborado pela autora.

7.2.1.4 Explique por que o micro-ondas consegue cozinhar, derreter, descongelar alimentos

Após verificarem o comportamento das ondas de micro-ondas, os alunos explicaram que esse consegue efetuar tais situações porque:

G1: Porque ele produz micro-ondas que fazem as partículas de água dos alimentos “ferverem”, criando calor.

G3: Usando radiação eletromagnética de alta frequência que faz as moléculas de água dos alimentos aquecerem.

G4: Quando as micro-ondas atingem o alimento, as moléculas de água que o compõem vibram, ocasionando uma fricção que gera calor.

G5: Porque as ondas do micro-ondas geram calor.

G6: O alimento cozinha porque a radiação da onda aquece o alimento até cozinhar.

7.2.2 Estação luz visível

Nessa estação, os alunos foram levados a observar a dispersão da luz solar com um prisma. Assim, quando a equipe chegava na estação, eles liam um pequeno texto sobre a luz visível e recebiam uma caixa com um prisma e respondiam a questões que estavam em um formulário que estava disponível em um QR code.

7.2.2.1 Escreva as cores que vocês conseguiram visualizar no experimento

Ao observarem as cores dispersas pela luz, os alunos encontraram uma sequência de cores, dependendo do ângulo que colocaram em relação ao sol. Alguns encontraram mais e outros menos cores, logo as respostas para os grupos foram as seguintes:

G1: Vermelho, laranja, amarelo, verde, azul e violeta.

G2: Azul, amarelo, vermelho, verde, roxo e laranja.

G3: Laranja, vermelho, verde, azul, vermelho, amarelo, violeta e branco em algumas partes.

G4: Azul, vermelho, amarelo e lilás.

G5: Violeta, azul, verde, amarelo, laranja, anil e vermelho.

G6: Roxo, azul, amarelo e vermelho.

Podemos perceber que, com essa prática, os alunos conseguiram perceber as cores que formam a cor branca. Alguns responderam na sequência, outros em ordem distintas, mas essa prática auxiliou os alunos a perceberem que a cor branca é a soma de todas as cores.

7.2.2.2 O que é a dispersão da luz?

E, seguida, solicitamos que os alunos, após perceberem o fenômeno, explicassem o que é dispersão. Para essa questão, nem todas as equipes responderam, porém as que responderam deram as seguintes respostas:

G1: É quando a luz se separa em várias cores.

G2: É um fenômeno óptico que ocorre devido a diferenças de velocidade de propagação dos raios luminosos quando mudam de meio.

G4: É um fenômeno óptico que ocorre quando a luz branca é separada em várias cores.

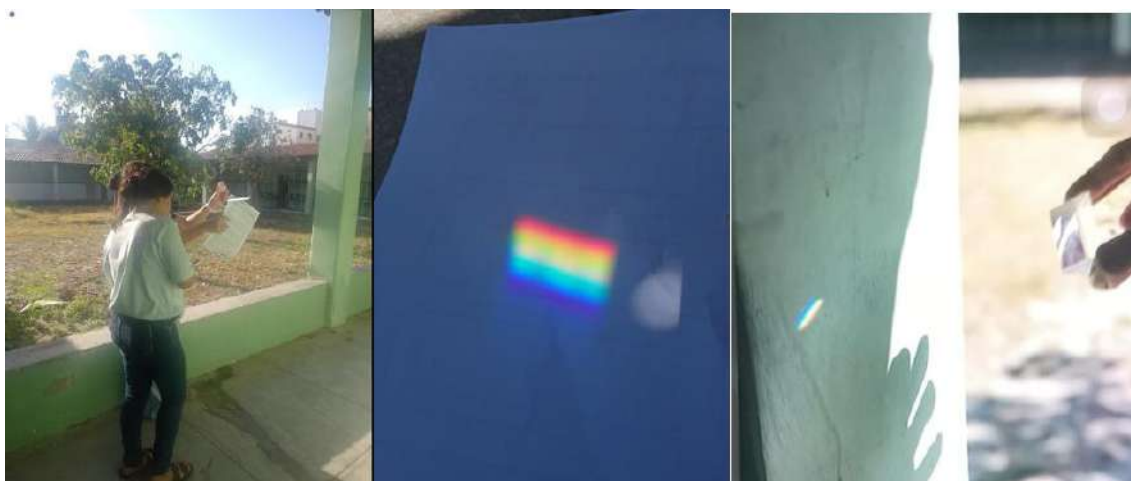
G5: É um fenômeno óptico em que a luz é separada em suas diferentes cores quando refratada através de algum meio transparente, a exemplo do arco-íris, do prisma e da lente fotográfica.

G6: É o fenômeno em que a luz incidente sobre uma partícula é remetida em outras direções, mas com a mesma frequência.

G8: É quando a luz branca atinge o prisma de vidro, projetando todas as cores.

7.2.2.3 Foto do experimento demonstrado na Figura 50

Figura 50 – Estação Luz Visível



Fonte: Elaborado pela autora.

7.2.3 Estação luz infravermelho

Esta luz não é visível pelo ser humano, mas pode ser percebida através de equipamentos como os termômetros de infravermelho, câmera de celular para ver a emissão de sinal do led de um controle remoto, sensores de infravermelho, entre outros. Assim, essa atividade buscou levar os alunos a visualizarem a luz infravermelha de um LED de controle remoto com a câmera de um celular e verificar a temperatura da biblioteca. Assim como o circuito das cores acontecia concomitantemente em três estações, essa estação contou com o auxílio da professora regente de multimeio Maria Lucineide Freire de Almeida, que orientou e entregou os equipamentos para as medidas na biblioteca.

7.2.3.1 Por que não conseguimos visualizar o LED do controle remoto acendendo apenas com os olhos?

G2: Ela fica fora do espectro visível de luz que nós temos, ou seja, não enxergamos.

G3: Porque o infravermelho está fora do espectro de luz visível do olho humano.

G4: O LED do controle remoto emite luz infravermelha, que está fora do espectro visível para o olho humano. Por isso, não conseguimos ver a luz infravermelha diretamente. No entanto, se você usar uma câmera digital, como a de um smartphone, ela pode detectar a luz infravermelha e mostrar a emissão do LED na tela, já que as câmeras geralmente capturam uma gama mais ampla de comprimentos de onda.

G5: Porque apresenta uma frequência que a luz vermelha.

G7: Porque a energia térmica tem um comprimento de onda muito maior do que a luz visível.

G8: A luz infravermelha é uma forma de radiação eletromagnética. Ela fica fora do espectro visível das luzes que podemos ver com os olhos.

7.2.3.2 Foto do registro do LED infravermelho funcionando demonstrado na Figura 51

Figura 51 – Estação Infravermelho



Fonte: Elaborado pela autora.

7.2.3.3 Registre os valores encontrados nas temperaturas da parede interna e externa da biblioteca

G1: Interna 26°C e externa 30,6°C.

G2: Interna 25,8°C e externa 28,6°C.

G3: Interna 25,3°C e externa 29,7°C.

G4: Interna 26,4°C e externa 29,3°C.

G5: Interna 25,6°C e externa 28,4°C.

G7: Interna 26,7°C e externa 30,3°C.

G8: Interna 25,9°C e externa 28,6°C.

*7.2.3.4 Explique a diferença de temperatura entre a parede interna e externa da biblioteca.
Que lado da parede está com temperatura mais alta e por quê?*

G1: Porque a parede interna não está no sol e a externa está no sol.

G2: A parte interna tem o ar-condicionado.

G3: O lado de fora é mais quente porque o sol aquece.

G4: Porque a parede interna, além de não ter contato com o sol, ainda tem o ar-condicionado, que ajudou a diminuir a temperatura.

G5: A parede externa porque o sol bate mais forte.

G7: Na parede interna, o ambiente estava climatizado e, por isso, a temperatura era menor.

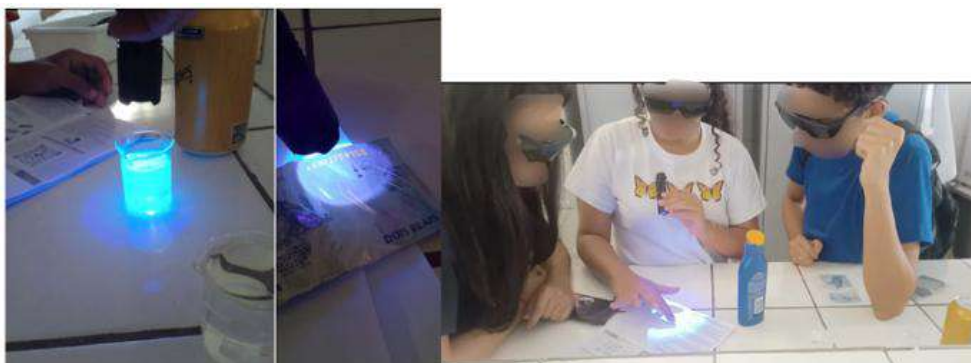
G8: A parede externa, por causa da radiação do sol, pois a interna não está exposta à luz do sol e a externa está exposta a luz do sol.

7.2.4 Estação luz ultravioleta

Essa estação aconteceu dentro do laboratório de ciências. Para a visualização do ultravioleta, trabalhamos com uma lanterna ultravioleta adquirida em lojas de internet, juntamente com matérias que são sensíveis à luz ultravioleta. Logo, a atividade tinha como objetivo identificar quais elementos eram sensíveis ao ultravioleta. Logo na bancada estavam dispostos materiais como água de torneira, água tônica, cédula de R\$ 2,00, pincel, óculos de proteção contra a radiação, protetor solar e folha em branco. Os alunos observaram os matérias com a lanterna de ultravioleta e responderam ao questionário.

7.2.4.1 Registro das fotos dos materiais líquidos iluminados pela lanterna de UV na Figura 52

Figura 52 – Estação Ultravioleta



Fonte: Elaborado pela autora.

7.2.4.2 Anexo o registro por foto de como as folhas com protetor solar ficaram ao serem iluminadas pela lanterna de UV (ver Figura 53)

Figura 53 – Luz ultravioleta e protetor solar



Fonte: Elaborado pela autora.

7.2.4.3 A água tônica mudou de cor? Se sim, pesquise na internet e responda que substância fez a água tônica mudar de cor?

G1: O elemento fósforo.

G3: Fósforo.

G4: Pois o fósforo presente na água tônica absorve a luz ultravioleta.

G5: Fósforo.

G7: Foi a substância Fósforo.

G8: Fósforo.

7.2.4.4 Em relação à nota de R\$ 2,00, houve alguma alteração quando essa foi exposta a luz ultravioleta? Se sim, para que serve essa mudança de cor nas notas?

G2: Para comprovar a veracidade da cédula.

G4: Para ver se não é falsa.

G5: Para verificar a veracidade das notas.

G6: Para ver os elementos invisíveis da nota.

G7: Para ver se é verdadeira.

G8: Para ajudar a evitar falsificação.

7.3 Aula 2: Fóton

Para a compreensão do laser, se faz necessário que os alunos compreendam o conceito de fóton, assim inserimos em nossa sequência didática uma aula sobre fótons com atividades experimentais que auxiliassem os alunos a se envolverem na busca dessa partícula. Dessa forma, aplicamos 3 estações, a primeira nomeada “Conhecendo o Elétron”, a qual auxilia o aluno percebe o efeito fotoelétrico que é trabalhado na estação 2 e, posteriormente, utilizar o aparato desenvolvido por eles para caçar fótons em diferentes horários do dia. Através dessas atividades, inserimos a cultura maker em que os alunos desenvolveram o protótipo de uma pequena placa solar criada com LEDs, os quais absorvem os fótons quando expostos ao sol e convertem devido à recombinação de elétrons-buracos e convertem energia solar em energia elétrica.

7.3.1 Estação 1: conhecendo os elétrons

Essa estação tem por objetivo criar um circuito simples que faça o aluno compreender que para ligar um LED é necessária uma corrente de elétrons. Para isso, eles receberam um kit contendo um ferro de solda, solda, 1 led, 1 resistor compatível com o LED um conector de bateria com fios e uma bateria.

7.3.1.1 Fotos do procedimento na Figura 54

Figura 54 – Estação Conhecendo o elétron



Fonte: Elaborado pela autora.

7.3.1.2 Qual foi a cor do LED? Essa cor será a cor da equipe a partir de agora

Para as duas turmas em que realizamos a aplicação dos produtos, tivemos 4 cores de LEDs, assim em cada turma houve apenas uma equipe com uma cor que foram: Azul, Amarelo, Vermelho e Verde.

- I. Assim ficaram com a cor:
- II. Vermelho: G3 e G5.
- III. Amarelo: G4 e G6.
- IV. Verde: G1 e G7.
- V. Azul: G2 e G8.

7.3.1.3 O que aconteceu ao ligar os polos do LED invertido?

Obtivemos as seguintes respostas:

- G1: não ligou.
- G2: nada.
- G3: Aconteceu nada.
- G4: não funciona.
- G5: Nada.
- G6: nada.

G8: não liga.

7.3.2 Estação 2: o efeito fotoelétrico

Na estação efeito fotoelétrico, os alunos receberam um kit com 6 LEDs, um capacitor, fios condutores, ferro de solda, solda e uma placa perfurada para inserção dos LEDs e montagem da placa de acordo com as orientações recebidas por cada grupo. Os alunos também receberam o questionário impresso para que pudessem se orientar e responder posteriormente através do formulário do QR code.

7.3.2.1 Fotos do procedimento na Figura 55

Figura 55 – Estação Efeito fotoelétrico – cultura maker – fazendo a placa de LEDS



Fonte: Elaborado pela autora.

7.3.2.2 Foi possível identificar DDP após o procedimento? Se não, o que aconteceu para não ter ocorrido a DDP?

G1: sim, com ddp 1,41V.

G2: sim, 0,38V.

G3: sim, com 1,23V.

G4: não funcionou, acho que ligamos os fios errados.

G5: sim, 1,44V.

G6: sim, 1,38V.

G7: sim, 1,16V.

G8: não liga.

7.3.3 Estação 3: caçadores de fótons

Após a criação do protótipo, foi sugerido que os alunos coletassem mais informações sobre a absorção de fótons. Assim em uma atividade guiada, no dia posterior, os alunos realizaram medidas em horários distintos, como sugerido na atividade.

7.3.3.1 Qual foi a data da verificação?

G1: 19/04/2024.

G2: 19/04/2024.

G3: 19/04/2024.

G5: 21/04/2024.

G6: 21/04/2024.

G7: 21/04/2024.

7.3.3.2 Descreva o tempo: com nuvem, sem nuvem?

G1: pouca nuvem.

G2: dia de sol.

G3: com sol e com nuvens.

G5: dia de sol.

G6: com poucas nuvens.

G7: ensolarado com algumas nuvens.

7.3.3.3 Escreva tensão gerada às 9h. Faça três medições e registre a média

G1: 1,47V.

G2: 0,75V.

G3: 1,18V.

G5: 1,44V.

G6: 1,15V.

G7: 1,89V.

7.3.3.4 Escreva tensão gerada às 12h. Faça três medições e registre a média

G1: 1,26V.

G2: 2,15V.

G3: 1,25V.

G5: 1,54V.

G6: 1,42V.

G7: 1,68V.

7.3.3.5 Análise dos resultados

Após a verificação dos resultados, percebemos que os LEDs vermelho, amarelo e verde desenvolvem voltagens estáveis, porém o LED azul, ao ser iluminado, não absorve muitos fótons, gerando uma ddp de valor baixo nos horários de 9h e 15h da tarde, mas assume o maior valor no horário de 12h.

7.4 Aula 3: Salto Quântico

Ao compreender o conceito de fóton emitido pela luz, passamos para o estudo dos átomos, abordando a absorção, emissão e emissão estimulada pelos elétrons no modelo atômico de Bohr. Discutimos a excitação dos elétrons, que ao saltarem para uma camada superior absorvem energia e, ao retornarem para a camada anterior, emitem luz. Assim, trabalhamos com a emissão de luz estimulada por sais, assim efetuamos um experimento explorando diferentes substâncias, as quais emitem cores distintas ao serem excitadas. Esse é um fenômeno utilizado em experimentos de espectroscopia e aplicações como lâmpadas fluorescentes e lasers.

7.4.1 Espectroscopia viva: o enigma das chamas coloridas

Esse experimento buscou desenvolver nos alunos a percepção de emissão estimulada da luz, realizada ao fornecer energia para a matéria, estimulando os elétrons presentes nos sais, que ao perderem energia, retornavam à sua camada inicial emitindo luz.

Realizada através da metodologia de rotação por estação, cada equipe desenvolvia uma estação por vez, de forma que apenas um grupo estava em uma estação. O experimento aconteceu dentro do laboratório de ciências como apresentados na Figura 56, usamos equipamentos de proteção, saís e calor através do fogo dentro de recipientes apropriados. E tivemos os seguintes resultados.

Figura 56 – Experimento Salto Quântico



Fonte: Elaborado pela autora.

7.4.1.1 Classifique a cor com base na referência: amarelo, vermelho, verde ou laranja

Após a realização das atividades, os alunos encontraram para as estações os resultados mostrados na Figura 57.

Figura 57 – Cor da emissão de luz dos elementos químicos

Cor		Cor	
1	Amarelo	3	Verde
2	Vermelho	4	Laranja

Fonte: Elaborado pela autora.

7.4.1.2 Observe o espectro visível e associe o comprimento à cor

Com base nas observações, foram indicadas as frequências para as cores mostradas na Figura 58.

Figura 58 – Frequência das cores dos elementos químicos

λ	Cor	λ	Cor
580	amarelo	520	verde
700	vermelho	630	laranja

Fonte: Elaborado pela autora.

7.4.1.3 Associe ao sal o comprimento de onda. A identificação da cor estará associada na tabela de cores que será fornecida em sala de aula

Com base na tabela, os alunos associaram a cor à substância estudada, como mostra a Figura 59.

Figura 59 – Composto químico associado à frequência emitida

λ		λ	
1 580	Cloreto de sódio	3 520	Sulfato de cobre
2 700	Cloreto de Bário	4 630	Bicarbonato de Sódio.

Fonte: Elaborado pela autora.

7.5 Aula 4: física dos materiais e o funcionamento do LED (diodo emissor de luz)

Nessa aula abordamos sobre a física da matéria e a emissão de luz estimulada através da matéria, conhecemos um pouco sobre a composição e estrutura dos leds e os compostos químicos que são capazes de emitir luz ao serem estimulados na recombinação elétron-buraco.

7.5.1 Explorando cores: descobrindo os segredos dos LEDS

É uma atividade que busca identificar de que é feito o LED com base na cor emitida. Para realizar a atividade, os alunos receberam um kit contendo 4 LEDs de alto brilho, com bulbo transparente. Os alunos deveriam seguir a orientação da ficha do experimento e ligar cada LED individualmente, anotando a cor emitida. Apesar de o formulário estar no QRcode, os alunos se sentiram mais à vontade para preencher o questionário de forma impressa.

7.5.1.1 Fotos do procedimento na Figura 60

Figura 60 – Desvendando o segredo dos LEDS



Fonte: Elaborado pela autora.

7.5.1.2 Cor que foi encontrada em cada LED apresentada na Figura 61

Figura 61 – Cores identificadas pelas equipes

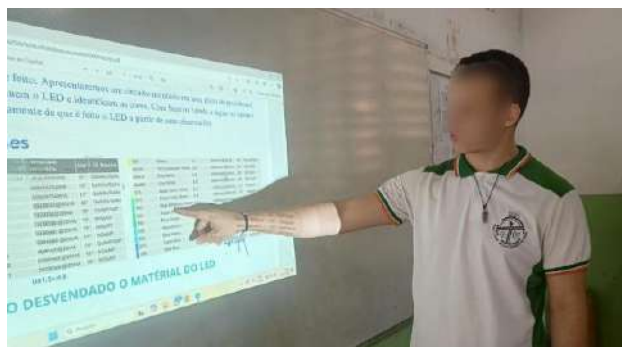
1	VERMELHO	1	BRANCO
2	VERDE	2	VERMELHO
3	AZUL	3	VERDE
4	VERMELHO	4	AZUL

1	Verde	1	vermelho
2	Vermelho	2	verde
3	Branco	3	branco
4	Azul	4	azul

Fonte: Elaborado pela autora.

7.5.1.3 Figura 62 com a tabela a apresentação em slides da constituição de cada LED pelo aluno

Figura 62 – Aluno mostrando a associação cor e composto químico



Fonte: Elaborado pela autora.

Na mesma sequência das cores dos LEDs temos os compostos químicos dos mesmos grupos apresentada pela Figura 63:

Figura 63 – Composto químico das cores encontradas

1	InGaAlP	1	SiC/GaN
2	GaP/GaP	2	GaAlAs/GaAs
3	SiC/GaN	3	InGaAlP
4	InGaAlP	4	SiC/GaN

1	InGaAlP	1	695-GaAsP/GaP
2	GaAs/GaP	2	565-GaP/GaP
3	SiC/GaN	3	SiC/GaIn
4	SiC/GaN	4	470-SiC/GaB

Fonte: Elaborado pela autora.

7.5.1.4 Formulem um texto explicando como foi aprender sobre semicondutores e os LEDs

G1: Através do experimento, conseguimos compreender o que é semicondutor.

G2: Foi legal e divertido!

G4: Compreendemos como funciona os LEDs

G5: Aprendemos sobre os LEDs

G7: Gostamos de descobrir como se formam as cores.

7.6 Aula 5: Laser: emissão de luz estimulada por radiação

Nessa aula, abordamos sobre o laser e como esse produz luz, abordamos sobre seus aspectos, os espelhos paralelos que amplificam e estimulam a emissão de fótons. Abordamos as características monocromáticas e de colimação. E, para completar nossa aula, realizamos um experimento em equipe que buscava fazer a comparação sobre a colimação entre LED e laser.

7.6.1 Conflito de feixes: descobrindo a colimação

Usando lanterna laser e ponteira LED, os alunos realizaram um experimento de comparação dos diâmetros de cada emissor de luz em distâncias similares. O questionário foi disponibilizado em QR code.

7.6.1.1 Fotos do procedimento na Figura 64

Figura 64 – Conflito de feixes



Fonte: Elaborado pela autora.

7.6.1.2 Qual foi o diâmetro da circunferência do feixe de laser para as distâncias de 10 cm, 50 cm, 1m e 1,5 m?

G1: 1cm, 1cm, 1cm e 1cm.

G2: 1,5cm, 1,5cm, 1,5cm e 1,5cm.

G3: 1cm, 1cm, 1cm e 1cm.

G4: 2cm, 2cm, 2cm e 2cm.

G5: 1cm, 1cm, 1cm e 1cm.

G6: 1,5cm, 1,5cm, 1,5cm e 1,5cm.

G7: 2cm, 2cm, 2cm, 2cm e 2cm.

G8: 1cm, 1cm, 1cm e 1cm.

7.6.1.3 Qual foi o diâmetro da circunferência do feixe da lanterna para as distâncias de 10 cm, 50 cm, 1 m e 1,5 m?

G1: 15cm, 27cm, 57cm e 98cm.

G2: 14cm, 29cm, 55cm, 100cm.

G3: 16cm, 30cm, 54cm, 105cm.

G4: 14cm, 26cm, 58cm, 102cm.

G5: 15cm, 28cm, 56cm, 101cm.

G6: 14cm, 27cm, 53cm, 99cm.

G7: 15cm, 29cm, 55cm, 104cm.

G8: 14cm, 26cm, 52cm, 97cm.

7.6.1.4 Por que acontece essa diferença entre os feixes de luz?

G1: O laser é mais fino.

G2: Porque o laser não espalha a luz como a lanterna.

G3: O laser tem feixes paralelos, enquanto a lanterna emite luz em várias direções.

G4: Porque o laser foi feito para emitir em uma única direção.

G5: Porque a lanterna não tem um feixe colimado e a luz dela se espalha.

G6: O laser tem uma tecnologia que mantém os raios paralelos.

G7: Porque o laser tem um feixe de luz colimado.

G8: Porque o laser mantém o feixe quase do mesmo tamanho, independente da distância.

7.7 Aplicações dos LEDS x laser e avaliação final do produto

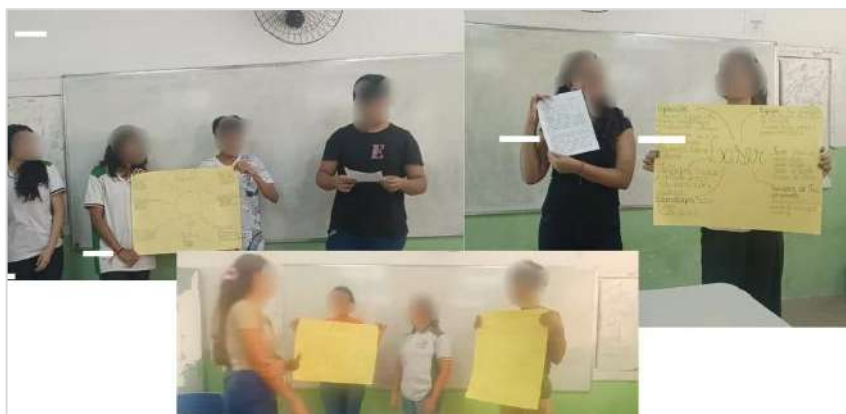
Na aula final, desenvolvemos uma atividade para trabalhar com a aplicabilidade dos LEDs e laser no cotidiano. Assim, sugerimos que as equipes desenvolvessem um mapa

conceitual e o desafio de um protótipo do produto apresentado em sala de aula. Contudo, não tivemos muita adesão do protótipo, somente do mapa conceitual, apenas uma equipe desenvolveu um protótipo com base na inteligência artificial.

7.7.1 Aplicações dos LEDS x laser

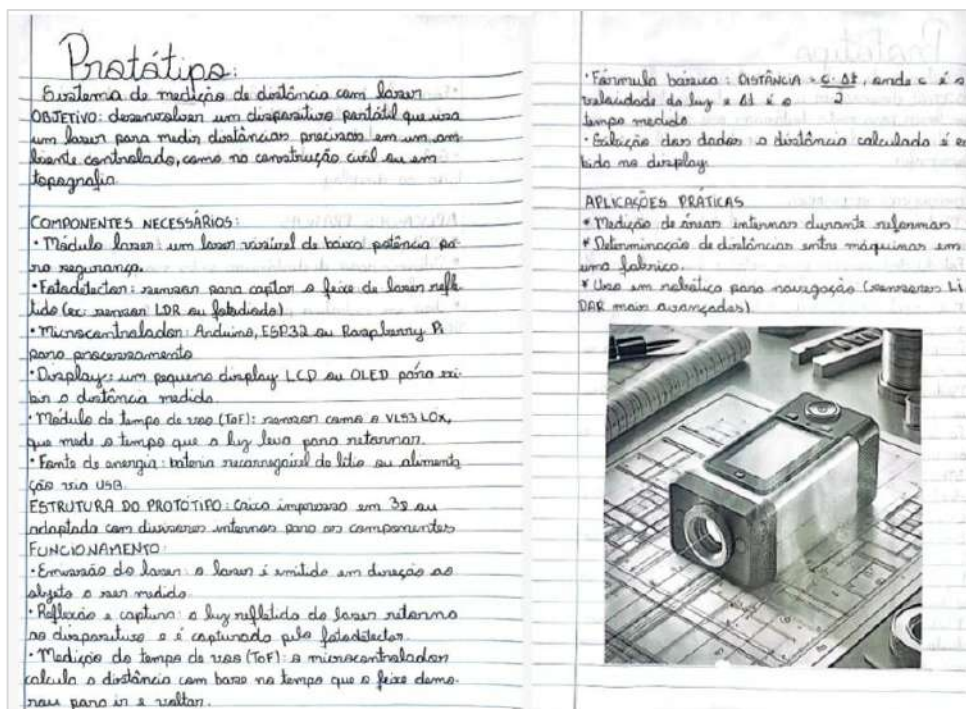
As equipes foram divididas em 2 temas em cada turma, sendo 2 equipes com laser e 2 equipes com LEDs. Três equipes não desenvolveram nem mapa conceitual, nem protótipo. Algumas fotos da apresentação e do protótipo criado por apenas uma equipe através da Inteligência Artificial. Apresentado pela Figuras 65 e 66.

Figura 65 – Aplicação dos LEDs e lasers



Fonte: Elaborado pela autora.

Figura 66 – Protótipo desenvolvido pelos alunos na atividade



Fonte: Elaborado pela autora.

8 RESULTADOS

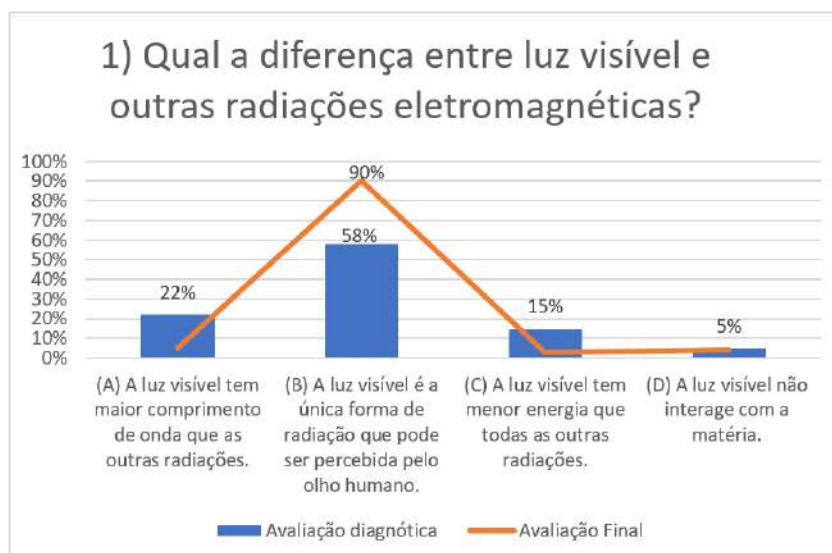
Os resultados consistem na comparação entre a avaliação diagnóstica e a avaliação. Através dessas, pudemos realizar uma comparação entre o antes, quando os alunos ainda não haviam interagido com o conteúdo, em que responderam através de suas intuições e conhecimentos prévios, e depois, após a interação com o conteúdo e experimentos sobre o tema.

8.1 Análise comparativa da aprendizagem dos alunos

Apresentaremos o gráfico comparativo dos alunos relacionados à avaliação diagnóstica e à avaliação final. Os gráficos têm uma coluna na cor azul que representa as respostas da avaliação diagnóstica, enquanto a linha na cor laranja representa as respostas da avaliação final, demonstrando o impacto da metodologia aplicada.

8.1.1 Qual a diferença entre luz visível e outras radiações eletromagnéticas?

Gráfico 1 – Respostas para a questão sobre a diferença entre luz visível e outras radiações eletromagnéticas



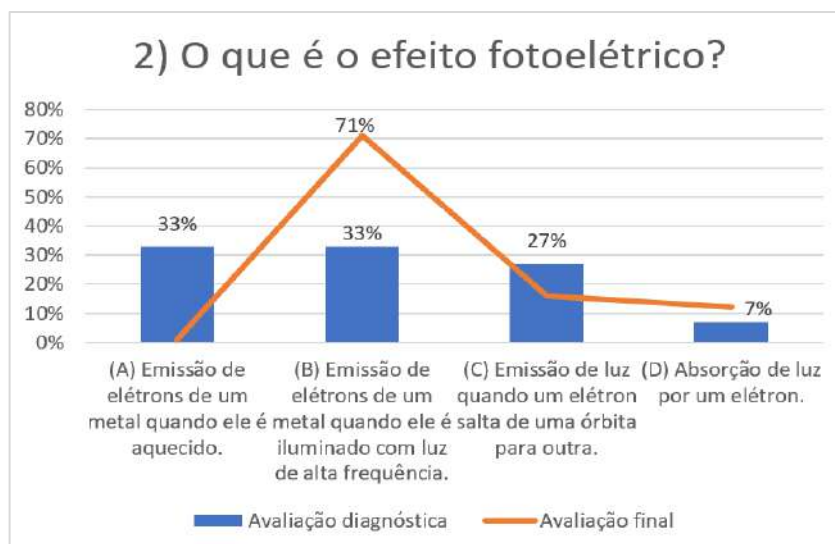
Fonte: Elaborado pela autora.

Verificamos na avaliação diagnóstica que mais da metade dos alunos já compreendiam sobre essa diferença, ainda que de forma intuitiva. Porém, após a aula dialogada e as atividades interativas do circuito das cores, observamos no gráfico 1 um aumento

significativo da resposta correta. Assim podemos considerar que a estrutura do ensino favoreceu a compreensão das propriedades das ondas eletromagnéticas.

8.1.2 O que é o efeito fotoelétrico?

Gráfico 2 – Respostas para a questão sobre efeito fotoelétrico

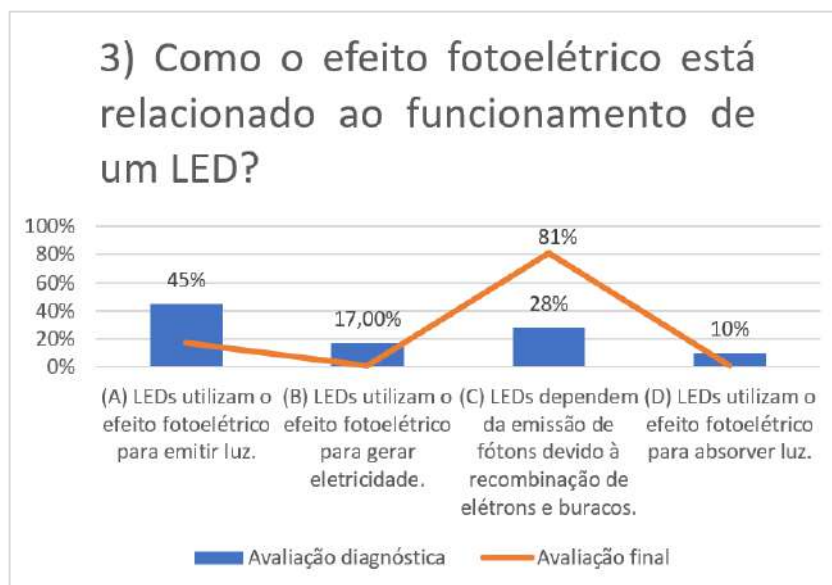


Fonte: Elaborado pela autora.

Inicialmente, os alunos ainda não compreendiam o conceito de fóton, com isso, responderam de forma aleatória, ainda baseados em suas intuições. Após a abordagem teórica e a interação através dos experimentos, percebemos no gráfico 2 que os alunos conseguiram compreender os conceitos com base no expressivo número de respostas corretas, assim demonstra que a metodologia aplicada contribuiu para a assimilação do fenômeno e sua importância na Física Moderna no ensino médio.

8.1.3 Como o efeito fotoelétrico está relacionado ao funcionamento de um LED?

Gráfico 3 – Respostas para a questão sobre efeito fotoelétrico relacionado ao funcionamento do LED

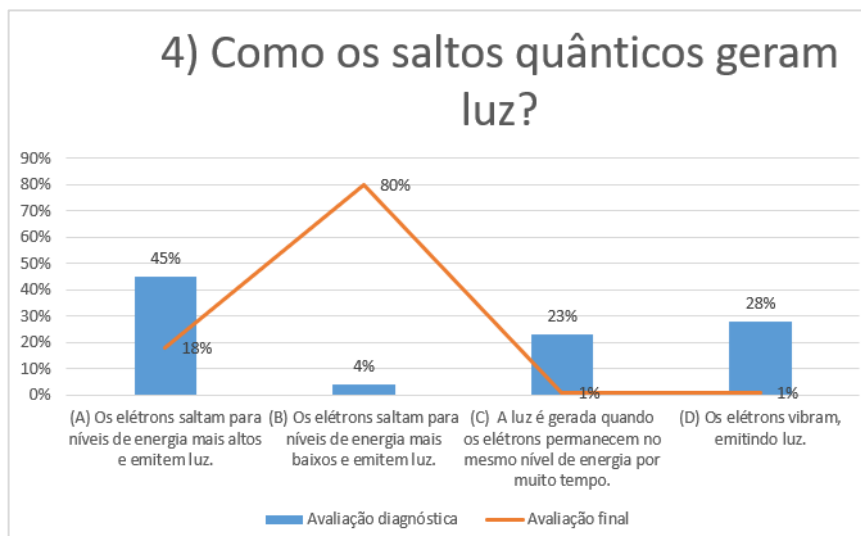


Fonte: Elaborado pela autora.

Percebemos nos resultados que os alunos ainda não conseguiam estabelecer a relação entre LEDs e fótons antes da aplicação da sequência didática. Porém, após o estudo desses conteúdos, observamos no gráfico 3 que a maioria compreendeu que a emissão de luz nos LEDs depende do movimento de elétrons quando interagem na composição do LED e associaram ao efeito fotoelétrico. Assim, reforça-se que foi importante a abordagem desses conceitos para a melhor aprendizagem dos alunos.

8.1.4 Como os saltos quânticos geram luz?

Gráfico 4 – Respostas para a questão sobre salto quântico

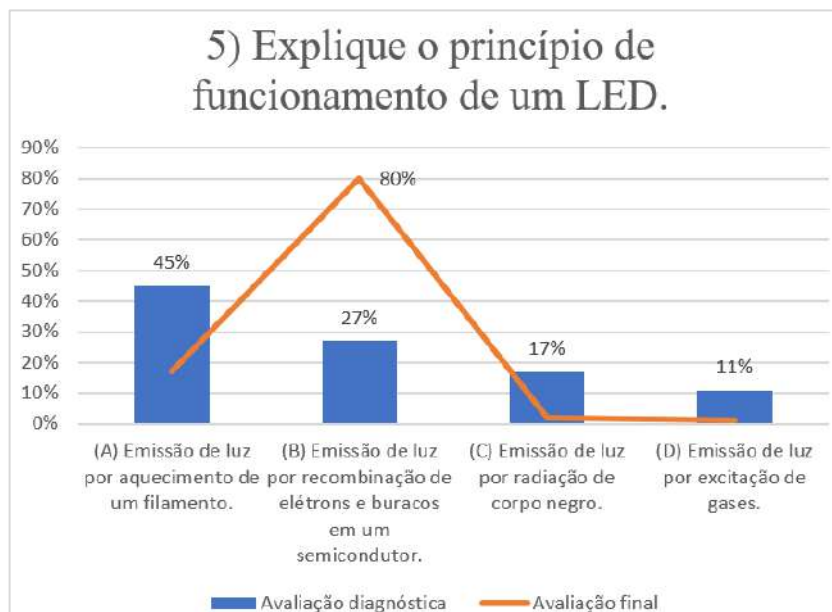


Fonte: Elaborado pela autora.

Esse conceito está relacionado aos estudos de química no primeiro ano, assim percebemos no gráfico 4 que os alunos, que são do segundo ano, só não acertaram questão por um pequeno ajuste na compreensão da emissão de luz no salto quântico, associado ao retorno do elétron para o nível mais estável. Assim, após a exploração da explicação detalhada dos níveis de energia e da experimentação, em equipes, trabalhando através da metodologia de rotação por estação, observamos uma evolução nos resultados apresentados no gráfico acima, em que na avaliação final os alunos apontaram em maior quantidade para o item correto. O que sugere que os alunos passaram a compreender melhor o fenômeno, bem como passaram a reconhecer a relação entre a liberação de fótons e a transição dos elétrons entre camadas.

8.1.5 Explique o princípio de funcionamento de um LED

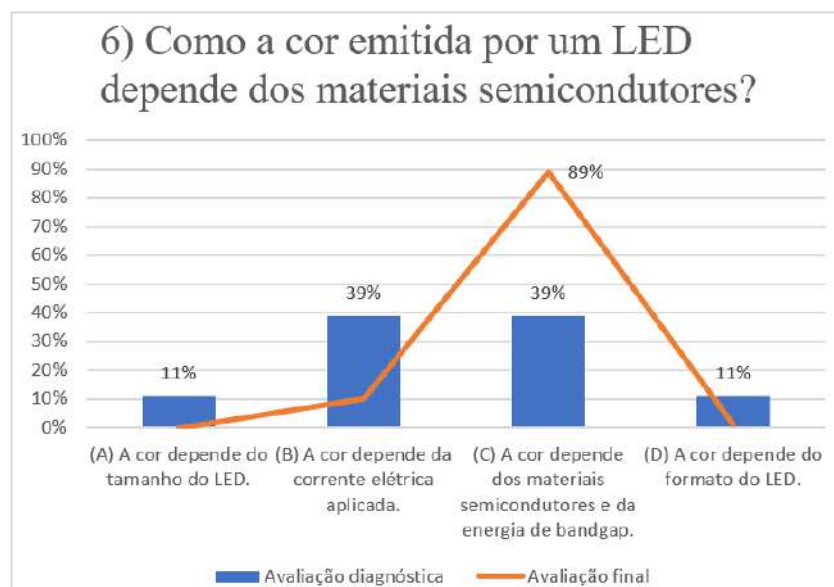
Gráfico 5 – Respostas para a questão sobre funcionamento do LED



Ao abordar o funcionamento dos LEDs apresentamos suas diversas especificidades, principalmente a recombinação elétrons-buraco. Assim sendo, podemos observar no gráfico 5 que inicialmente os alunos quase não compreendiam sobre funcionamento do LED apresentando respostas aleatórias, contudo após a abordagem e experimentação podemos verificar na comparação dos gráficos que o número de respostas corretas cresceu consideravelmente após as aulas, indicando que a abordagem prática, aliada à discussão teórica, facilitou a compreensão do processo de emissão de luz nos LEDs e sua aplicação tecnológica.

8.1.6 Como a cor emitida por um LED depende dos materiais semicondutores?

Gráfico 6 – Respostas para a questão sobre a cor emitida por um LED

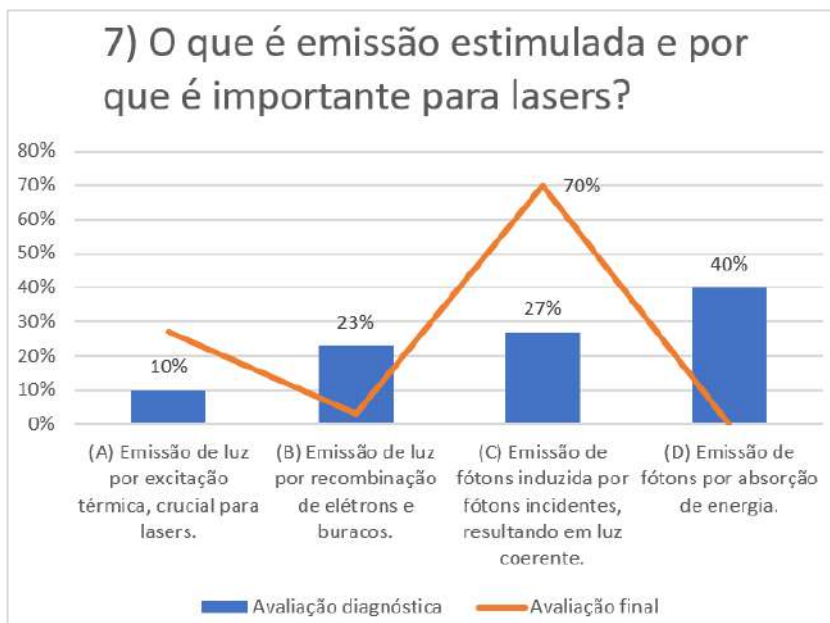


Fonte: Elaborado pela autora.

Os LEDs foram abordados de forma bem específica, com base em toda a explicação sobre os semicondutores, enfatizando que este dispositivo é um semicondutor, que funciona a partir de compostos químicos e sua relação com as bandas de condução e banda de valência. Assim percebemos no gráfico 6 que, inicialmente, muitos alunos não relacionavam diretamente a cor da luz emitida ao material semicondutor utilizado. Mas, após a sequência didática, o gráfico mostra um aumento significativo no entendimento desse princípio, demonstrando que o ensino teórico – experimental favoreceu a assimilação do conceito.

8.1.7 O que é emissão estimulada e por que é importante para lasers?

Gráfico 7 – Respostas para a questão sobre emissão estimulada

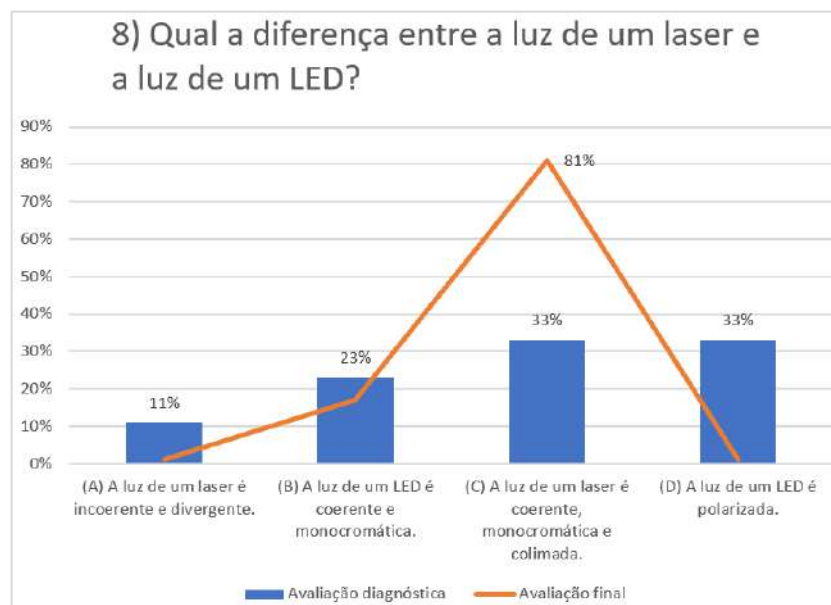


Fonte: Elaborado pela autora.

Percebemos, através dos resultados do gráfico 7 da avaliação diagnóstica, que o conceito de emissão estimulada era praticamente desconhecido pelos alunos antes das aulas. E após o estudo dos conceitos de recombinação dos elétrons entre as bandas de condução e valência, também conhecido como recombinação elétrons-buracos, os quais são importantes no reconhecimento da importância desse fenômeno para o funcionamento dos lasers. Assim, observamos um aumento de 27% para 70% dos alunos que conseguiram compreender esse fenômeno.

8.1.8 Qual a diferença entre a luz de um laser e a luz de um LED?

Gráfico 8 – Respostas para a questão sobre a diferença entre a luz de um laser e a luz de um LED



Fonte: Elaborado pela autora.

Nossa aula sobre laser trouxe para o contexto educacional uma abordagem que foi construída, aula a aula, dessa sequência didática, trazendo o conceito de luz e as características da luz laser. Assim, percebemos que a emissão da luz laser acontece através da emissão estimulada, o decaimento em cascata de fótons e uma especificidade que é a colimação do laser em comparação à luz do LED. Logo, a verificação do gráfico 8 demonstra que, antes da sequência didática, a maioria dos alunos não compreendia as diferenças fundamentais entre as duas fontes de luz, pois o fenômeno da colimação foi focado principalmente na aula prática de comparação entre os feixes de LED e laser, fazendo com que os alunos compreendessem melhor esse fenômeno somente ao final da sequência. Assim, observamos que na avaliação final houve um aumento expressivo nas respostas corretas, indicando que a abordagem utilizada auxiliou na compreensão das propriedades da luz laser, como colimação, monocromaticidade e coerência.

8.1.9 Reflexões sobre os resultados

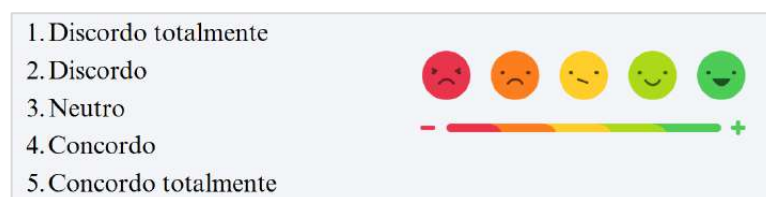
Observamos, através dos gráficos, que os alunos mostram avanço no aprendizado, pois percebemos um aumento no número de respostas certas entre a avaliação diagnóstica e a

avaliação final. Com isso, observamos que as ideias baseadas no construtivismo de Piaget e na interação social de Vygotsky facilitaram a aprendizagem dos alunos, pois, ao realizarem o estudo sobre o laser, através da sequência didática aplicada, facilitamos a adaptação e compreensão dos alunos sobre o funcionamento do laser a partir de princípios físicos.

8.2 Análise da percepção dos alunos sobre o produto educacional

Para observar a percepção dos alunos em relação aos assuntos estudados em nosso produto educacional, desenvolvemos um questionário, a partir da escala Likert, que teve como objetivo observar se os alunos compreenderam os assuntos estudados na sequência didática, bem como se compreenderam o funcionamento do laser. Assim, as questões foram organizadas conforme os temas de cada aula, permitindo uma análise do impacto do produto educacional ao longo das etapas. As afirmações tinham como respostas discordo totalmente, discordo, neutro, concordo e concordo totalmente como na Figura 67. As perguntas foram organizadas com base em cada aula e tiveram os seguintes resultados:

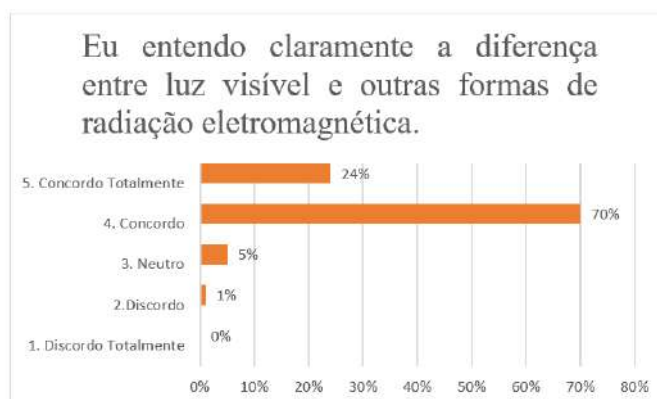
Figura 67 – Escala Likert



Fonte: Elaborado pela autora.

8.2.1 Ondas eletromagnéticas

Gráfico 9 – Respostas para a questão sobre ondas eletromagnéticas

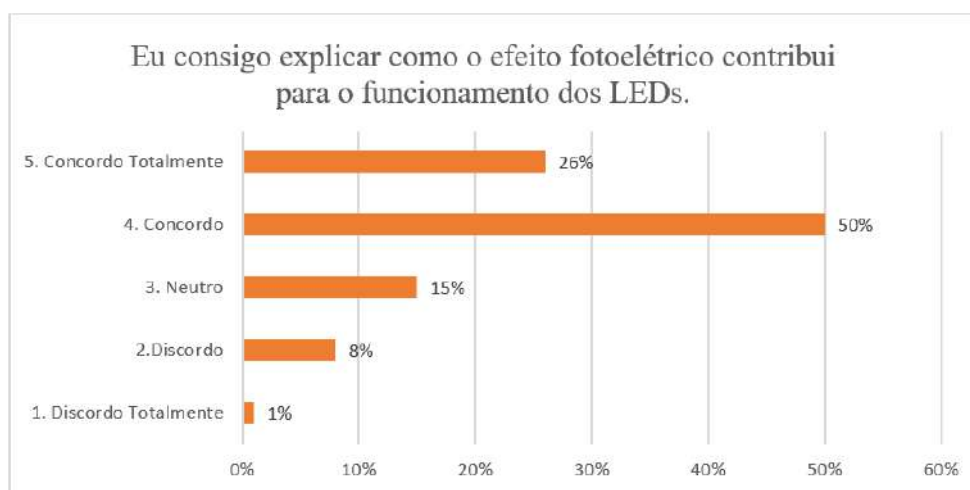


Fonte: Elaborado pela autora.

Percebemos no Gráfico 9 que a maioria dos alunos concordou com a afirmação, assim podemos concluir que a abordagem sobre as ondas eletromagnéticas foi eficaz e facilitou a compreensão do espectro eletromagnético e das características da luz visível.

8.2.2 *Efeito fotoelétrico*

Gráfico 10 – Respostas para a questão sobre efeito fotoelétrico

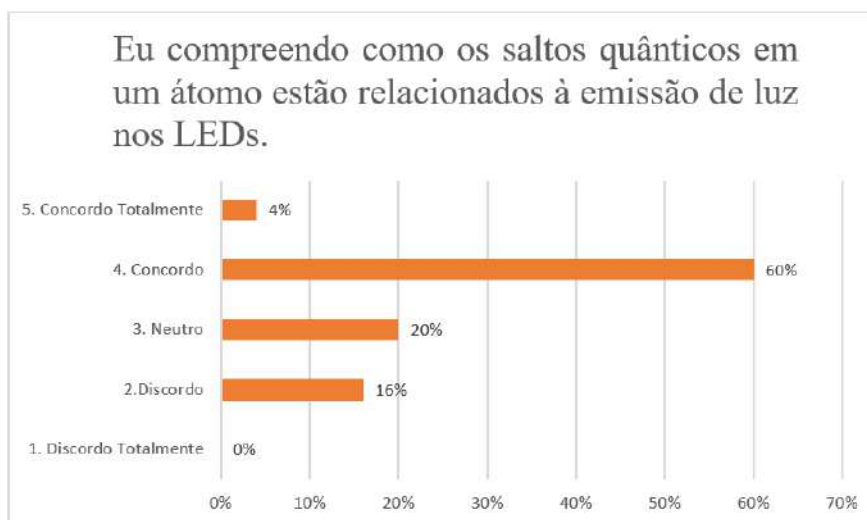


Fonte: Elaborado pela autora.

Observamos no Gráfico 10 que os estudantes acreditam que conseguiram compreender sobre o fenômeno do efeito fotoelétrico. Assim, eles reconhecem a importância da luz como partícula (fóton) para compreenderem o fenômeno que auxilia na compreensão do funcionamento da luz laser. Podemos ainda afirmar que a associação com a emissão de elétrons a partir da incidência de luz ajudou a fixar o conteúdo.

8.2.3 Salto quântico

Gráfico 11 – Respostas para a questão sobre salto quântico

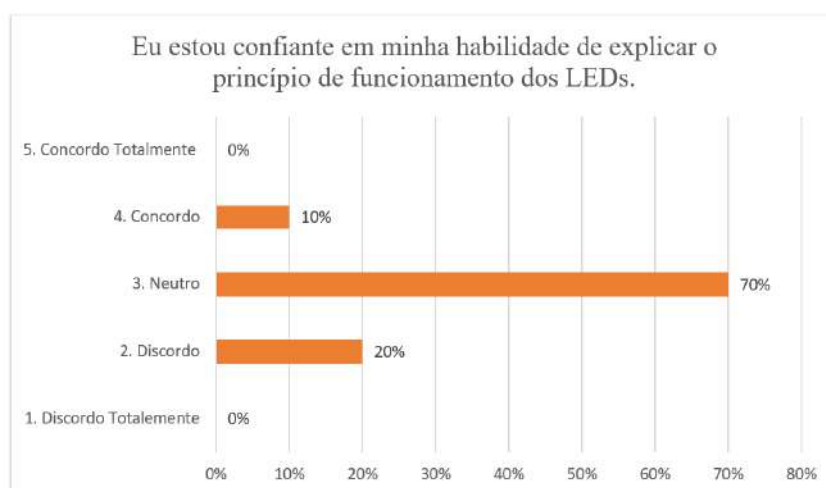


Fonte: Elaborado pela autora.

A análise das respostas no Gráfico 11 indica que os alunos passaram a compreender a ideia de níveis de energia nos átomos e o papel dos saltos quânticos na emissão de luz. Assim, observamos que a maioria, no total de 60%, concorda, 20% foram neutros, 16% discordam e apenas 4% concorda totalmente com a afirmação, assim concluímos que a abordagem e experimentação contribuíram para a compreensão do átomo de Bohr e a emissão estimulada de luz.

8.2.4 Funcionamento dos LEDs

Gráfico 12 – Respostas para a questão sobre funcionamento dos LEDs

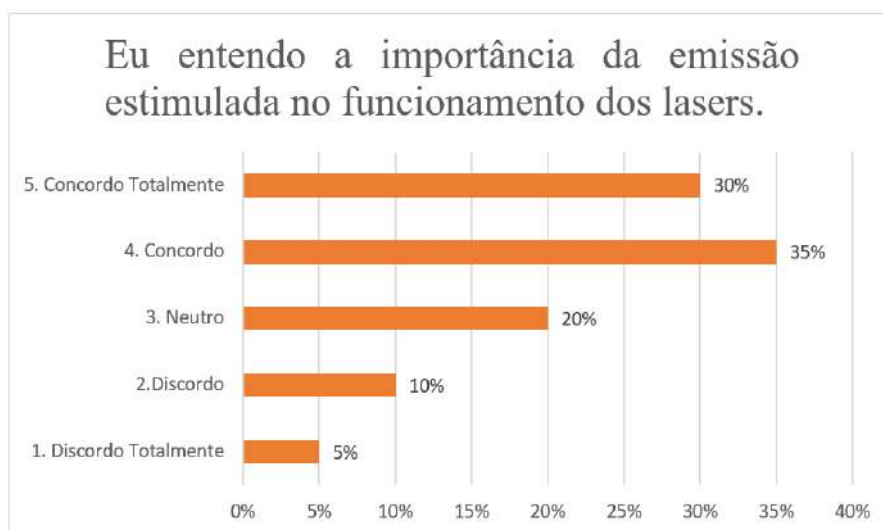


Fonte: Elaborado pela autora.

Realizamos uma explicação sobre a recombinação elétron-buraco aliada à experimentação sobre os materiais químicos que formam os LEDs, isso auxiliou os alunos a entenderem como ocorre a emissão de luz nesse tipo de dispositivo, contudo, apesar da abordagem, podemos observar no Gráfico 12 que a maioria dos alunos se mostra neutra em afirmar que são confiantes em explicar o princípio dos LEDs, 20% discordam e apenas 10 % estão seguros com essa afirmação.

8.2.5 Funcionamento dos lasers

Gráfico 13 – Respostas para a questão sobre funcionamento dos lasers

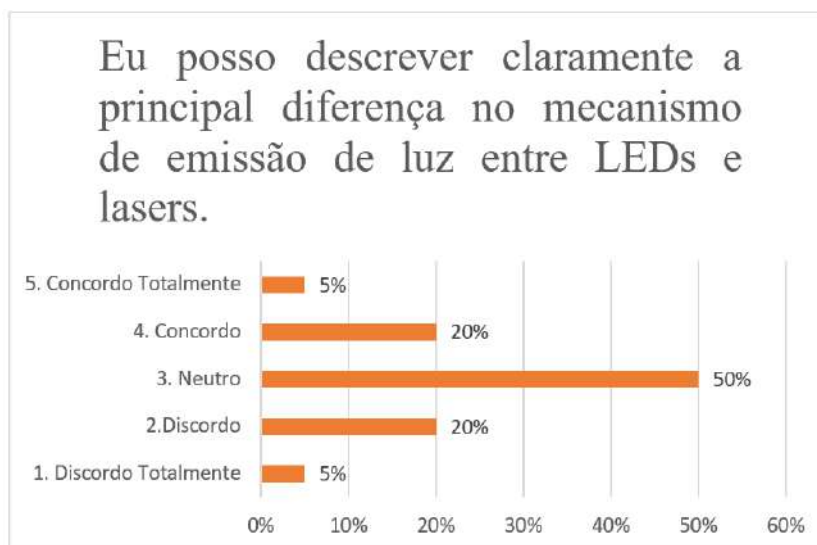


Fonte: Elaborado pela autora.

Observamos no Gráfico 13, com base nos dados, que a abordagem da emissão estimulada e na compreensão do funcionamento do laser foi entendida pela maioria dos alunos, pois 30% concordam totalmente com a afirmação e 30% concordam, logo apenas 20% ficaram neutros, 10% discordam e 5% discordam totalmente.

8.2.6 Comparação entre LEDS e lasers

Gráfico 14 – Respostas para a questão sobre comparação entre LEDs e lasers

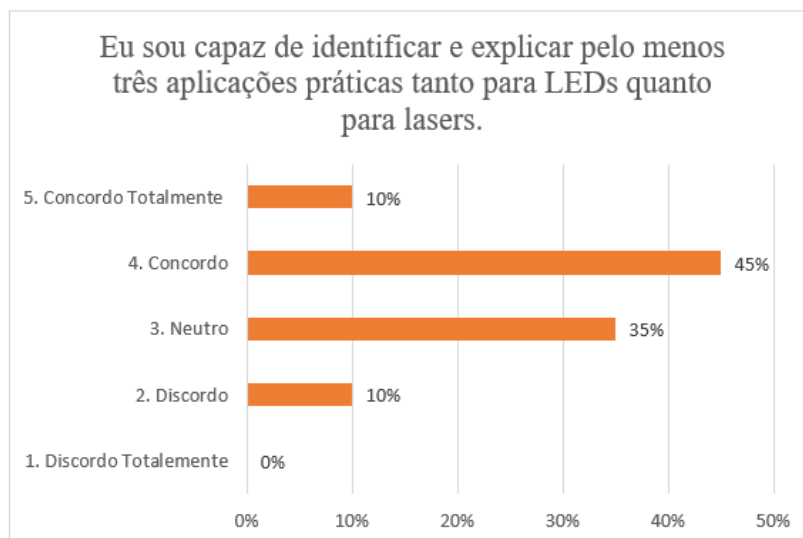


Fonte: Elaborado pela autora.

Verificamos no Gráfico 14 que a maioria dos alunos, 50%, se manterão neutros em relação à afirmação, logo não podemos indicar que os alunos compreenderam as diferenças entre LED e laser, pois apenas 20% concordaram com a afirmação e apenas 5% afirmaram com convicção que aprenderam ao concordar totalmente. Contudo, podemos afirmar que as definições de colimação, coerência e monocromaticidade auxiliaram os alunos na comparação prática dos dois dispositivos. Respostas para a questão *sobre aplicações práticas*.

8.2.7 Aplicações práticas

Gráfico 15 – Respostas para a questão sobre aplicações práticas

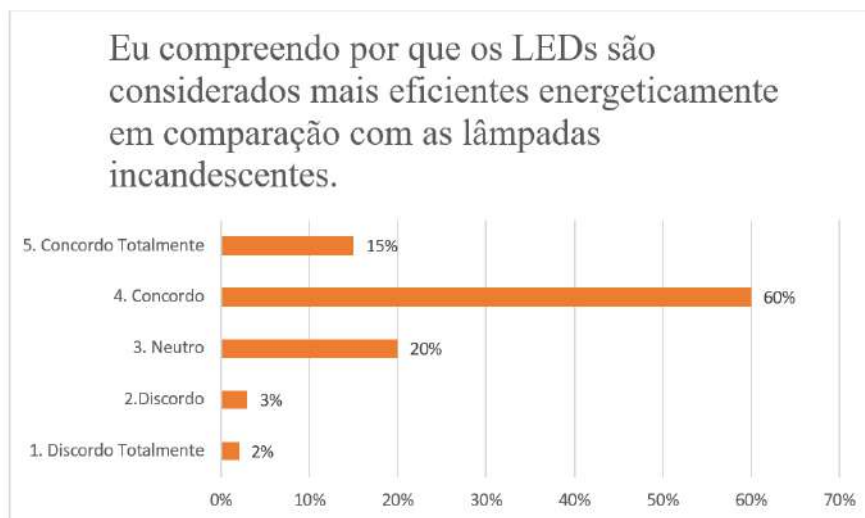


Fonte: Elaborado pela autora.

Quanto a afirmação das atividades que relacionaram os conceitos com aplicações reais (como tecnologia, medicina e telecomunicações), essa teve proposição mediana em relação à aprovação, pois 10% concordam totalmente e 45% da turma concorda, porém 35% ficaram neutros e 10% discordam, com base no Gráfico 15. Logo, podemos afirmar que um pouco mais da metade dos alunos consideraram que o produto aumentou o interesse e a percepção da utilidade do conteúdo sobre laser e LEDs.

8.2.8 Eficiência energética

Gráfico 16 – Respostas para a questão sobre eficiência energética



Fonte: Elaborado pela autora.

Esse assunto sobre as discussões da eficiência dos LEDs e lasers em relação a outros dispositivos chamou a atenção dos alunos, pois a maioria concordou com a afirmação, sendo 15% concorda totalmente e 60% concorda. Ou seja, podemos determinar pelo Gráfico 16 que o produto promove reflexões sobre sustentabilidade e consumo consciente. Logo, houve reconhecimento do papel da Física na solução de problemas do cotidiano.

8.2.9 Reflexões sobre os resultados

A avaliação em escala Likert reforça que os alunos se envolveram com os assuntos abordados no produto educacional. Concluímos que a combinação entre fundamentação teórica, metodologia ativa, experimentação e contextualização prática permitiu que conteúdos fossem abordados de forma mais acessível, interessante e significativa. Esses dados complementam a análise comparativa de desempenho e demonstram que a proposta atingiu seus objetivos pedagógicos e formativos.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nosso trabalho teve como objetivo desenvolver, aplicar e avaliar um produto educacional voltado ao ensino de Física Moderna. O mesmo teve como foco a compreensão do funcionamento do laser, a partir do conceito de luz. A proposta educacional foi centrada na perspectiva de transformar a sala de aula em um espaço ativo de construção do conhecimento, aproximando conteúdos tradicionalmente abstratos de vivências práticas e significativas para os estudantes.

A sequência didática foi organizada em seis aulas, as quais abordam de forma progressiva os seguintes temas: ondas eletromagnéticas, efeito fotoelétrico, salto quântico, funcionamento dos LEDs, funcionamento dos lasers, a comparação entre essas fontes de luz e suas aplicações práticas. Todas as atividades foram elaboradas com base em metodologias ativas, como a rotação por estação e a cultura maker, e fundamentadas nas teorias construtivistas de Piaget, na qual os alunos assimilariam as informações e acomodariam o conhecimento para a aula seguinte. Também destacamos a importância de desenvolver o aprendizado em equipes pautados no interacionismo de Vygotsky, o qual norteia a aprendizagem como um processo dinâmico, social e investigativo.

A análise comparativa entre os resultados da avaliação diagnóstica e da avaliação final evidenciou um avanço significativo na aprendizagem dos alunos, pois podemos destacar que a maior parte dos estudantes demonstraram ter superado concepções iniciais incompletas ou alternativas, passando a compreender com mais clareza conceitos fundamentais como fóton, efeito fotoelétrico, recombinação elétron-buraco, salto quântico e emissão estimulada. Também destacamos uma avaliação em escala Likert, a qual revelou uma percepção positiva dos alunos em relação à maioria dos temas estudados.

Podemos destacar que o principal mérito deste trabalho foi mostrar que é possível trabalhar conteúdo da Física Moderna de forma acessível, de forma concreta, envolvente e contextualizada. A organização das estações de aprendizagem como mediação pedagógica ativa facilitou o desenvolvimento dos conceitos e suas aplicações reais, também contribuiu para tornar o aprendizado mais significativo.

Os desafios encontrados na aplicação deste trabalho foram o tempo disponível para a aplicação das aulas e desenvolvimento dos experimentos, o que comprometeu, em parte, a exploração mais aprofundada de alguns temas. Outro fator limitante foi a ausência de familiaridade prévia dos alunos com metodologias ativas, o que exigiu um maior esforço de adaptação no início do processo. Ainda assim, os resultados obtidos mostraram que, com

mediação adequada, é possível superar essas dificuldades e promover uma aprendizagem de qualidade.

Como perspectiva futura, recomendamos que este produto educacional seja aplicado em diferentes contextos escolares, permitindo que os professores possam aplicá-lo em turmas de outras faixas etárias, escolas com diferentes estruturas e realidades socioculturais. Além disso, ele pode ser aprimorado com a inclusão de recursos digitais complementares, como simulações, vídeos interativos ou ambientes virtuais de aprendizagem, ampliando o acesso e a interatividade.

Dessa forma, espera-se que esta pesquisa possa contribuir não apenas para o ensino de Física no nível médio, mas também para o fortalecimento de práticas pedagógicas inovadoras, que valorizem o aluno como sujeito ativo no processo de aprendizagem. Ao apresentar uma alternativa concreta, replicável e teoricamente embasada. Este trabalho se propõe a inspirar outros docentes a transformar suas aulas em experiências mais significativas, despertando nos estudantes a curiosidade, o encantamento pela ciência e a capacidade de compreender o mundo de maneira crítica e criativa.

REFERÊNCIAS

ABDALLA, M. C. B. **O discreto charme das partículas elementares**. São Paulo: Editora UNESP, 1954.

ALVES, A. L. da C. **Física e jogos teatrais no ensino médio: uma proposta didática embasada nos três momentos pedagógicos para o ensino de ondas eletromagnéticas**. 2022. 221 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2022. Disponível em: https://sucupira-legado.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=12205220. Acesso em: 3 fev. 2025.

ALVES, A. M. **Uma abordagem para o ensino de dispositivos LED no ensino médio**. 2017. 88 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/bitstream/prefix/129>. Acesso em: 10 fev. 2025.

BACICH, L.; MORAN, J. **Metodologias Ativas para uma Educação Inovadora: uma abordagem teórico prática**. Porto Alegre: Editora Penso, 2018.

BALISCEI, M. P. **Uma Sequência Didática Alternativa: Conceitos de Eletricidade e o Efeito Fotoelétrico Utilizando Simulações Computacionais**. 2016. 165 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2016. Disponível em: https://forumeja.org.br/biblioteca-virtual-eja/uma-sequencia-didatica-alternativa-conceitos-de-eletricidade-e-o-efeito-fotoeletrico-utilizando-simulacoes-computacionais/?metaquery%5B0%5D%5Bkey%5D=collection_id&metaquery%5B0%5D%5Bcompare%5D=IN&metaquery%5B0%5D%5Bvalue%5D%5B0%5D=475305&perpage=12&order=ASC&orderby=date&pos=0&source_list=term&source_entity_id=49259&ref=%2Fpalavras-chave-biblioteca%2Fefeito-fotoeletrico%2F%3Fmetaquery%255B0%255D%255Bkey%255D%3Dcollection_id%26metaquery%255B0%255D%255Bcompare%255D%3DIN%26metaquery%255B0%255D%255Bvalue%255D%255B0%255D%3D475305%26perpage%3D12%26view_mode%3Dmasonry%26paged%3D1%26order%3DASC%26orderby%3Ddate%26fetch_only%3Dthumbnail%252Ccreation_date%252Ctitle%252Cdescription%26fetch_only_meta%3D. Acesso em: 20 jan. 2025.

BARROS, L. G.; ASSIS, A.; LANGHI, R. Proposta de construção de espectroscópio como alternativa para o ensino de astronomia. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 33, n. 3, p. 1026-1046, dez. 2016. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2016v33n3p1026>. Acesso em: 4 fev. 2025.

BATISTA, D. C. **Uma proposta para se ensinar efeito fotoelétrico no ensino médio**. 2016. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/2317>. Acesso em: 20 jan. 2025.

BENAQUIO, W. C. **Elaboração e aplicação de um material instrucional baseado na aprendizagem significativa sobre o efeito fotoelétrico para alunos do Ensino Médio**.

2020. 163 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2020. Disponível em: https://sappg.ufes.br/tese_drupal/tese_9568_Dissertacao_Wilson_Carminatti_Benaquio.pdf. Acesso em: 20 jan. 2025.

BRASIL. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC, 2018. Disponível em: <https://basenacionalcomum.mec.gov.br/>. Acesso em: 23 maio 2025.

BRETENAKER, F.; TREPS, N. **LASER**: 50 anos de descobertas. Camberra: World Scientific Publishing Company, 2014.

CABRAL, J. C. **Efeito fotoelétrico**: uma abordagem a partir do estudo de circuitos elétricos. 2015. 145 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/10616>. Acesso em: 20 jan. 2025.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia de materiais**: uma introdução. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

CANCIAM, C. Identificação de Resinas Termoplásticas pelo Teste de Chama. In: SANT'ANA, D. **Base de Conhecimentos Gerados na Engenharia Ambiental e Sanitária**. 2021. p. 99-106.

CARDOSO, R. C. **Associação da luz com ondas eletromagnéticas em uma abordagem dos três momentos pedagógicos**. 2017. 134 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal do ABC, Santo André, 2017. Disponível em: <http://www1.fisica.org.br/mnpef/associa%C3%A7%C3%A3o-da-luz-com-ondas-eletromagn%C3%A9ticas-em-uma-abordagem-dos-tr%C3%AAs-momentos-pedag%C3%B3gicos>. Acesso em: 20 jan. 2025.

CARUSO, F.; OGURI, V. **Física Moderna**: origens clássicas e fundamentos quânticos. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

CASTRO, D. J. B. de. **O Ensino De Ondas Eletromagnéticas no Projeto Mundial Do Ensino Médio**: Uma proposta Interdisciplinar envolvendo Física e Geografia. 2020. 119 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2020. Disponível em: <http://www1.fisica.org.br/mnpef/sites/default/files/dissertacaoarquivo/polo-37-dissertacao-david.pdf>. Acesso em: 3 fev. 2025.

DUQUE R. de C. S. *et al.* **A cultura maker**: e suas implicações no contexto educacional. 1. ed. Vitória: Educação Transversal, 2023.

EBERHARDT, D. *et al.* Experimentação no ensino de Física Moderna: efeito fotoelétrico com lâmpada néon e LEDs. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 34, n. 3, p. 928-950, dez. 2017. Disponível em: https://repositorio.pucrs.br/dspace/bitstream/10923/11780/2/Experimentacao_no_ensino_de_Fisica_Moderna_efeito_fotoeletrico_com_lampada_neon_e_LEDs.pdf. Acesso em: 8 fev. 2025.

EISBERG, R. M.; RESNICK, R. **Física Quântica**: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e

partículas. Rio de Janeiro: Campus, 1994.

FERRACIOLI, L. Aprendizagem, desenvolvimento e conhecimento na obra de Jean Piaget: uma análise do processo de ensino-aprendizagem em ciências. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**, Brasília, v. 80, n. 194, p. 5-18, jan./abr. 1999. Disponível em: <https://rbep.inep.gov.br/ojs3/index.php/rbep/article/view/1252/991>. Acesso em: 2 out. 2024.

FEYNMAN, R. P. *et al.* **The Feynman lectures on physics**. San Francisco: Pearson/Addison-Wesley, 2006.

FINO, C. N. Dewey, Papert, construcionismo e currículo. *In*: FINO, C. N.; SOUSA, J. M. **(Contra)tempos de educação e democracia, evocando John Dewey**. Funchal: Centro de Investigação em Educação, 2017. p. 21-30.

FOX, M. **Optical Properties of Solids**. Oxford: Oxford University Press, 2001.

FREITAS, P. dos S. C. de. **Ondas eletromagnéticas e visão**: material complementar para o ensino médio sob a perspectiva do currículo mínimo. 2019. 228 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2019. Disponível em: <https://www1.fisica.org.br/mnpef/dissertacao/ondas-eletromagn%C3%A9ticas-e-vis%C3%A3o-material-complementar-para-o-ensino-m%C3%A9dio-sob-perspectiva>. Acesso em: 3 fev. 2025.

GOMES, E. C.; BATISTA, M. C.; FUSINATO, P. A. O estudo das ondas eletromagnéticas a partir do enfoque CTS: uma possibilidade para o ensino de física no ensino médio. **Revista de Ensino de Ciências e Matemática**, Passo Fundo, v. 8, n. 1, p. 109-125, dez. 2017. Disponível em: <https://pdfs.semanticscholar.org/c29a/2f4c13a1a9bcc649383db575b2ce9cfa46eb.pdf>. Acesso em: 3 fev. 2025.

HADAD, I. H. R. de O. **Material de apoio ao professor de Física Utilização da bobina de Tesla para o ensino de ondas eletromagnéticas**. 2018. 165 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Acre, Rio Branco, 2018. Disponível em: <http://www1.fisica.org.br/mnpef/material-de-apoio-ao-professor-de-f%C3%ADsica-utiliza%C3%A7%C3%A3o-da-bobina-de-tesla-para-o-ensino-de-ondas>. Acesso em: 20 jan. 2025.

HAKIME, R. de O. **Transposição didática da interação do laser com sistemas biológicos no ensino médio**: uma proposta de guia didático para professores. 2015. 101 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/17799/1/TransposicaoDidaticaInteracao.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2025.

HALLIDAY, D. **Physics**. New York: Wiley, 2002.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física: Óptica e Física Moderna**. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

KHALID, Q. **Introduction to BME LAB LEC.2: fundamentals of laser**. Ash Shafaq:

Mustaqbal University, 2022. Disponível em: https://uomus.edu.iq/img/lectures21/MUCLecture_2022_41321335.pdf. Acesso em: 20 jan. 2025.

KITTEL, C. **Introdução à física do estado sólido**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

HORN, M. B.; STAKER, H.; CHRISTENSEN, C. M. **Blended: using disruptive innovation to improve schools**. San Francisco: Jossey-Bass, 2015.

LABURÚ, C. E. *et al.* Visualizando ondas eletromagnéticas estacionárias (um experimento na cozinha de casa). **Caderno Brasileiro De Ensino De Física**, Florianópolis, v. 17, n. 3, p. 328-335, dez. 2000. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6764>. Acesso em: 20 jan. 2025.

LEAL, J. de S. **Uma proposta de sequência didática sobre o efeito fotoelétrico para o ensino de física moderna e contemporânea na educação básica**. 2017. 145 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Santa Cruz, 2017. Disponível em: <https://www1.fisica.org.br/mnpef/uma-proposta-de-sequ%C3%A2ncia-did%C3%A1tica-sobre-o-efeito-fotoel%C3%A9trico-para-o-ensino-de-f%C3%ADsica-moderna-e>. Acesso em: 20 jan. 2025.

LIMA, A. F. de. **Proposta de uma UEPS para ensinar o efeito fotoelétrico no ensino médio**. 2018. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade de Brasília, Brasília, 2018. Disponível em: <https://www.repositorio.unb.br/handle/10482/33272?locale=en>. Acesso em: 20 jan. 2025.

LINO, M. A. da S. **Utilização de elementos de radioamadorismo no ensino de ondas eletromagnéticas**. 2020. 228 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2020. Disponível em: https://sucupira-legado.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=10413659. Acesso em: 3 fev. 2025.

LOPES, P. A. de S. S. **Laser como tema gerador no ensino básico (à luz da Quântica)**. 2019. 244 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2019. Disponível em: https://sucupira-legado.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=9501435. Acesso em: 12 fev. 2025.

LOVATO, F. L. *et al.* Metodologias ativas de aprendizagem: uma breve revisão. **Acta Scientiae**, v. 20, n. 2, p. 154-171, mar./abr. 2018. Disponível em: <https://fasbam.edu.br/wp-content/uploads/2020/08/Metodologias-ativas-de-aprendizagem-uma-breve-revisa%C3%A3o.pdf#:~:text=RESUMO.%20Historicamente,%20os%20m%C3%A9todos%20tradicionais%20de%20ensino>. Acesso em: 2 out. 2024.

MACIEL, G. S. **Proposta de uma sequência didática sobre tópicos de física quântica através do uso de simulações computacionais e da determinação da constante de planck com LEDS aplicado ao ensino médio**. 2015. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2015. Disponível em: <https://repositorio.ufes.br/server/api/core/bitstreams/c10c18b3-4e3e-40b9-a259->

9d73c49c3b87/content. Acesso em: 10 fev. 2025.

MACIEL, M. M.; LEITE, F. A. A realização do teste da chama: possibilidades na aprendizagem em química. In: SEMINÁRIO DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 9., 2019, Belo Horizonte. **Anais [...]**. Belo Horizonte: Universidade Federal da Fronteira Sul, 2019. Disponível em: <https://portaleventos.uffrs.edu.br/index.php/SEPE-UFFRS/article/view/12141/8923>. Acesso em: 4 fev. 2025.

MAIA, G. de O. R. **Interação da radiação com a matéria e implicações para o ensino de mecânica quântica: o caso do efeito fotoelétrico**. 2016. 92 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2016. Disponível em: <https://www1.fisica.org.br/mnpf/intera%C3%A7%C3%A3o-da-radia%C3%A7%C3%A3o-com-mat%C3%A9ria-e-implica%C3%A7%C3%B5es-para-o-ensino-de-mec%C3%A2nica-qu%C3%A2ntica-o-caso-do-efeito>. Acesso em: 4 fev. 2025.

MALDONADO, A. P. B. **Ondas eletromagnéticas com ênfase em raios x: uma proposta didática com o uso de tecnologias educacionais**. 2020. 217 f. Dissertação (Mestrado em Psicologia Aplicada) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2020. Disponível em: <http://www1.fisica.org.br/mnpf/sites/default/files/dissertacaoarquivo/p20-dissertacao-anapaula.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2025.

MATAN. **Diodo laser: como funciona, aplicação e vantagens**. São Paulo: Matan, 2023. Disponível em: <https://www.electricity-magnetism.org/pt-br/diodo-laser>. Acesso em: 20 jan. 2025.

MATOS, O. C. S.; SARINHO, V. T. “Não queima meu LED!” – um jogo de realidade virtual para o ensino de circuitos digitais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE JOGOS E ENTRETENIMENTO DIGITAL, 22., 2023, Rio Grande/RS. **Anais [...]**. Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Computação, 2023. Disponível em: https://sol.sbc.org.br/index.php/sbgames_estendido/article/view/27898. Acesso em: 10 fev. 2025.

MATZNER, H. Laser: a ferramenta que é pura energia. **Nova Eletrônica**, São Paulo, v. 6, n. 74, p. 21-29, abr. 1983. Disponível em: https://issuu.com/electroncaparamakers/docs/revista_nova_eletronica_ano_vi_numero_74_abril_de_. Acesso em: 20 jan. 2025.

MELO, T. C. V. de. **Teoria do desenvolvimento cognitivo de Piaget e sua interface com a terapia cognitivo-comportamental familiar**. 2011. 217 f. Dissertação (Mestrado em Psicologia Aplicada) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/17156>. Acesso em: 20 jan. 2025.

MENEGUELLI, D. C. da S. **A utilização das UEPS no estudo das ondas eletromagnéticas por meio de uma abordagem CTSA**. 2020. 139 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2020. Disponível em: <https://portal1.iff.edu.br/o-iffuminense/pesquisa/pos-graduacao-stricto-sensu/mestrado-nacional-profissional-em-ensino-de-fisica/projetos-e-dissertacoes-defendidas/dissertacoes-defendidas/a-utilizacao-das-ueps-no-estudo-das-ondas-eletromagneticas-por-meio-de-uma-abordagemctsa-autora-dilcineia-correia-da-silva-meneguelli>. Acesso em: 20 jan. 2025.

MORAES, R. F. **Laser: a luz que revolucionou a tecnologia**. 2015. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Física) – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Marabá, 2015. Disponível em: https://repositorio.unifesspa.edu.br/bitstream/123456789/563/1/TCC_Laser%20a%20luz%20que%20revolucionou.pdf. Acesso em: 12 fev. 2025.

MÜLLER, C. M. *et al.* Teste da chama: análise de um experimento investigativo. In: SEMINÁRIO ESTADUAL PIBID DO PARANÁ, 2., 2014, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: UNIOESTE, 2014. Disponível em: <https://dspace.unila.edu.br/server/api/core/bitstreams/8d00c805-e153-4f24-adb4-4a829000ba76/content>. Acesso em: 9 fev. 2025.

NASCIMENTO, J. P. **O efeito fotoelétrico na inserção da Física Moderna no ensino médio**. 2023. 105 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2023. Disponível em: <https://repositorio.ufes.br/items/2d0f351a-b4a0-4e00-b4f7-cd6a064b2d4f>. Acesso em: 20 jan. 2025.

NASCIMENTO, T. V. do. **Sequência didática para o ensino e produção de ondas eletromagnéticas**. 2020. 139 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2020. Disponível em: https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/15040/2/TIAGO_VIANA_NASCIMENTO.pdf. Acesso em: 20 jan. 2025.

NUNES, C. R. *et al.* Teste da chama: uma perspectiva sobre transição eletrônica para alunos do ensino médio do IFAM. **Revista Ensino, Saúde e Biotecnologia da Amazônia**, Coari, v. 1, n. 1, p. 1-2, jun. 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufam.edu.br/index.php/resbam/article/view/5566/4324>. Acesso em: 9 fev. 2025.

OLIVEIRA, I. N. de *et al.* Estudo das propriedades do diodo emissor de luz (LED) para a determinação da constante de planck numa maquete automatizada com o auxílio da plataforma arduino. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 42, n. 1, p. 1-9, dez. 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/tYxCGJshXSRQY5wDgZMdCqM/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 fev. 2025.

PARENTE, W. F. **Uma Sequência Didática para a Física Quântica: a Experimentação no Ensino do Efeito Fotoelétrico**. 2020. 145 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal de Roraima, Boa Vista, 2020. Disponível em: https://sucupira-legado.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=9633920. Acesso em: 20 jan. 2025.

PASSINHO, F. R. **Proposta de sequência didática estruturada nos três momentos pedagógicos para o ensino de ondas eletromagnéticas**. 2018. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2018. Disponível em: <https://www.biblioteca.uesc.br/pergamumweb/vinculos/201610035D.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2025.

PEREIRA, J. A. *et al.* O laser como régua: abordando difração em ensino de física. **Revista Física no Campus**, Campina Grande, v. 3 n. 3, p. 34-42, dez. 2023. Disponível em: <https://revista.uepb.edu.br/fisicanocampus/article/view/2882/2144>. Acesso em: 20 jan. 2025.

PRADO, R. J.; LEITE, D. de O. Espectroscopia no infravermelho: uma apresentação para o ensino médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 34, n. 2, p. 1-9, jun. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/QbZCxCNqrv3B7nYTHzwtrmFm/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 20 jan. 2025.

REGO, T. C. **Vygotsky: uma perspectiva histórico-cultural da educação**. Petrópolis: Vozes, 1995.

REIS, F. **Efeito fotoelétrico na produção e transformação da luz**: investigação do uso de uma proposta didática para o ensino de física em cursos de engenharia. 2019. 178 f. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2019. Disponível em: <http://www.ppgecim.ulbra.br/teses/index.php/ppgecim/article/viewFile/336/332>. Acesso em: 8 fev. 2025.

RENK, K. F. **Basics of Laser Physics For Students of Science and Engineering**. Berlim: Springer, 2017.

REZENDE, S. M. **Materiais e dispositivos eletrônicos**. 4. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2015.

RIBEIRO, L. M. dos S. **Ondas eletromagnéticas e suas aplicações na metodologia da instrução pelos colegas**. 2017. 106 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Santa Cruz, 2017. Disponível em: <https://www1.fisica.org.br/mnpef/ondas-eletromagn%C3%A9ticas-e-suas-aplica%C3%A7%C3%B5es-na-metodologia-da-instru%C3%A7%C3%A3o-pelos-colegas>. Acesso em: 20 jan. 2025.

ROCHA, M. C. da *et al.* Atividade grupal à luz de Piaget e Vygotsky: contribuições para uma ação didática voltada a cursos de formação superior. **EFDeportes.com**, Buenos Aires, v. 17, n. 176, p. 1-10, jan. 2013. Disponível em: <https://www.efdeportes.com/efd176/atividade-grupal-a-luz-de-piaget-e-vygotsky.htm>. Acesso em: 20 jan. 2025.

ROSA, R. J. G.; DICKMAN, A. G. Física moderna no ensino médio: experimento e simulação para abordar o efeito fotoelétrico. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 10., 2015, Águas de Lindóia. **Anais [...]**. Águas de Lindóia: ABRAPEC, 2015.

ROSSINI, R. T. **Transmissão e recepção de ondas eletromagnéticas**: uma abordagem experimental para o ensino médio e técnico. 2016. 175 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: http://pef.if.ufrj.br/producao_academica/dissertacoes/2016_Rodrigo_Rossini/dissertacao_Rodrigo_Rossini.pdf. Acesso em: 20 jan. 2025.

SANTANA, J. da S. **Unidade de ensino potencialmente significativa como instrumento de aprendizagem de ondas eletromagnéticas**. 2019. 106 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2019. Disponível em: <http://www1.fisica.org.br/mnpef/unidade-de-ensino-potencialmente-significativa-como-instrumento-de-aprendizagem-de-ondas-0>. Acesso em: 20 jan. 2025.

SANTOS, A. da S. **Objeto de aprendizagem para o ensino do efeito fotoelétrico no ensino fundamental**. 2016. 72 f. Dissertação (Mestrado em Física) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, 2016. Disponível em: <http://tede2.uefs.br:8080/handle/tede/541>. Acesso em: 20 jan. 2025.

SANTO, S. C. do E. **Dispositivo eletrônico semicondutor LED: uma abordagem baseada em unidade de ensino potencialmente significativa**. 2017. 166 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal do ABC, Santo André, 2017. Disponível em: <https://biblioteca.ufabc.edu.br/index.html>. Acesso em: 10 fev. 2025.

SANTOS, M. A. da C. dos. **Ferramentas didáticas e a aprendizagem sobre ondas eletromagnéticas e a polarização da luz**. 2016. 134 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2016. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/3869>. Acesso em: 20 jan. 2025.

SANTOS, R. D. da C. **Elaboração de uma unidade de ensino para investigação da tensão de corte do LED**. 2020. 152 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2020. Disponível em: https://ri.ufs.br/bitstream/riufs/15043/2/ROBSON_DOMINGOS_CRUZ_SANTOS.pdf. Acesso em: 10 fev. 2025.

SCHITTLER, D.; MOREIRA, M. Laser de rubi: uma abordagem baseada em unidades de ensino potencialmente significativas (UEPS). **Am. J. Phys. Educ.**, São Paulo, v. 8, n. 2, p. 263-273, dez. 2014. Disponível em: http://www.lajpe.org/jun14/05_LAJPE_882_Daniela_Schittler.pdf. Acesso em: 12 fev. 2025.

SERWAY, R. A.; BEICHNER, R. J. **Physics for scientists and engineers with Modern Physics**. Londres: Houghton Mifflin Harcourt, 1999.

SILVA JÚNIOR, J. M. da; COELHO, G. R. O ensino por investigação como abordagem para o estudo do efeito fotoelétrico com estudantes do ensino médio de um Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 37, n. 1, p. 51-78, dez. 2020. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8086211>. Acesso em: 8 fev. 2025.

SILVA, L. F.; ASSIS, A. Física Moderna no ensino médio: um experimento para abordar o efeito fotoelétrico. **Cad. Bras. Ens. Fís.**, Florianópolis, v. 29, n. 2, p. 313-324, ago. 2012. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/65b63a42-a1b1-4956-a140-eb4b503c3bec/content>. Acesso em: 8 fev. 2025.

SILVA, L. O.; OLIVEIRA, S. G. Importância da mediação docente na zona de desenvolvimento proximal do aluno: pressupostos vygotskyanos no processo de aprendizagem. In: SIMPÓSIO MINEIRO DE GESTÃO, EDUCAÇÃO, COMUNICAÇÃO E TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO, 6., 2020, Varginha. **Anais [...]**. Varginha: UNIS, 2020.

Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/visimgeti/296779-a-importancia-da-mediacao-docente-na-zona-de-desenvolvimento-proximal-do-aluno--pressupostos-vygotskyanos-no-proc/>. Acesso em: 8 fev. 2025.

SILVA, M. N. dos S.; PEDERSEN, F. A.; CARVALHO NETO, J. T. de. Stellector: um explorador do céu noturno guiado por laser para o ensino de astronomia. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 44, n. 1, p. 1-12, dez. 2022. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/8ppNRjYRLmsBDdTDcPMtXn/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 12 fev. 2025.

SILVA, M. O. da. **Sequência didática potencialmente significativa sobre o efeito fotoelétrico**. 2017. 108 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, 2017. Disponível em: <https://www1.fisica.org.br/mnpef/sequ%C3%Aancia-did%C3%A1tica-potencialmente-significativa-sobre-o-efeito-fotoel%C3%A9trico>. Acesso em: 20 jan. 2025.

SILVA, R. A. da; FELICIO, C. M. **Rotação por Estações: uma proposta didática para formação integral na Educação de Jovens e Adultos**. Goiânia: PROFEPT, 2020.

SILVA, R. M. da. **Sequência didática multimídia para o ensino do efeito fotoelétrico**. 2015. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, 2015. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/716179/3/T2013-Ricardo%20Monteiro%20da%20Silva-Dissertacao.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2025.

SOARES, J. A. *et al.* Jaleco Seletor: explorando o teste de chama e a química através da cultura pop. In: ENCONTROS DE DEBATES SOBRE O ENSINO DE QUÍMICA, 43., 2024, Bagé. **Anais [...]**. Bagé: UNIPAMPA, 2024. Disponível em: <https://edeq.com.br/submissao2/index.php/edeq/article/view/574/392>. Acesso em: 29 set. 2024.

SOUZA, C. de; SILVA, D. N. H. Adolescência em debate: contribuições teóricas à luz da perspectiva histórico-cultural. **Psicologia em Estudo**, v. 23, n. 1, p. 1-12, dez. 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pe/a/jKmy5CvDmf7p987ycXnVHPx/format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 29 set. 2024.

SOUZA, D. O. de *et al.* Teste de chama: uma intervenção do Pibid através da experimentação nas aulas de química em uma escola de referência. In: CONGRESSO NACIONAL DE EDUCAÇÃO, 4., 2017, Maceió. **Anais [...]**. Maceió: Realize, 2017. Disponível em: https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/conedu/2017/TRABALHO_EV073_MD1_SA16_ID2761_10092017200054.pdf. Acesso em: 9 fev. 2025.

SOUZA, J. S. **Inserção da física moderna e contemporânea no ensino médio: uma sequência de ensino para abordar o efeito fotoelétrico**. 2018. 145 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Estadual de Santa Cruz, Santa Cruz, 2018. Disponível em: <https://www1.fisica.org.br/mnpef/inser%C3%A7%C3%A3o-da-f%C3%ADsica-moderna-e-contempor%C3%A2nea-no-ensino-m%C3%A9dio-uma-sequ%C3%Aancia-de-ensino-para-abordar-o>. Acesso em: 20 jan. 2025.

SOUZA, M. L. C. de. **Análise da aplicação de unidade didática para o ensino de atomística sob a perspectiva do desenho universal para a aprendizagem (DUA)**. 2022. 137 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Química) - Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, 2022. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/handle/1/27729>. Acesso em: 20 jan. 2025.

TIPLER, P. A.; LLEWELLYN, R. A. **Física Moderna**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

TIPLER, P. A.; MOSCA, G. **Física para cientistas e engenheiros**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

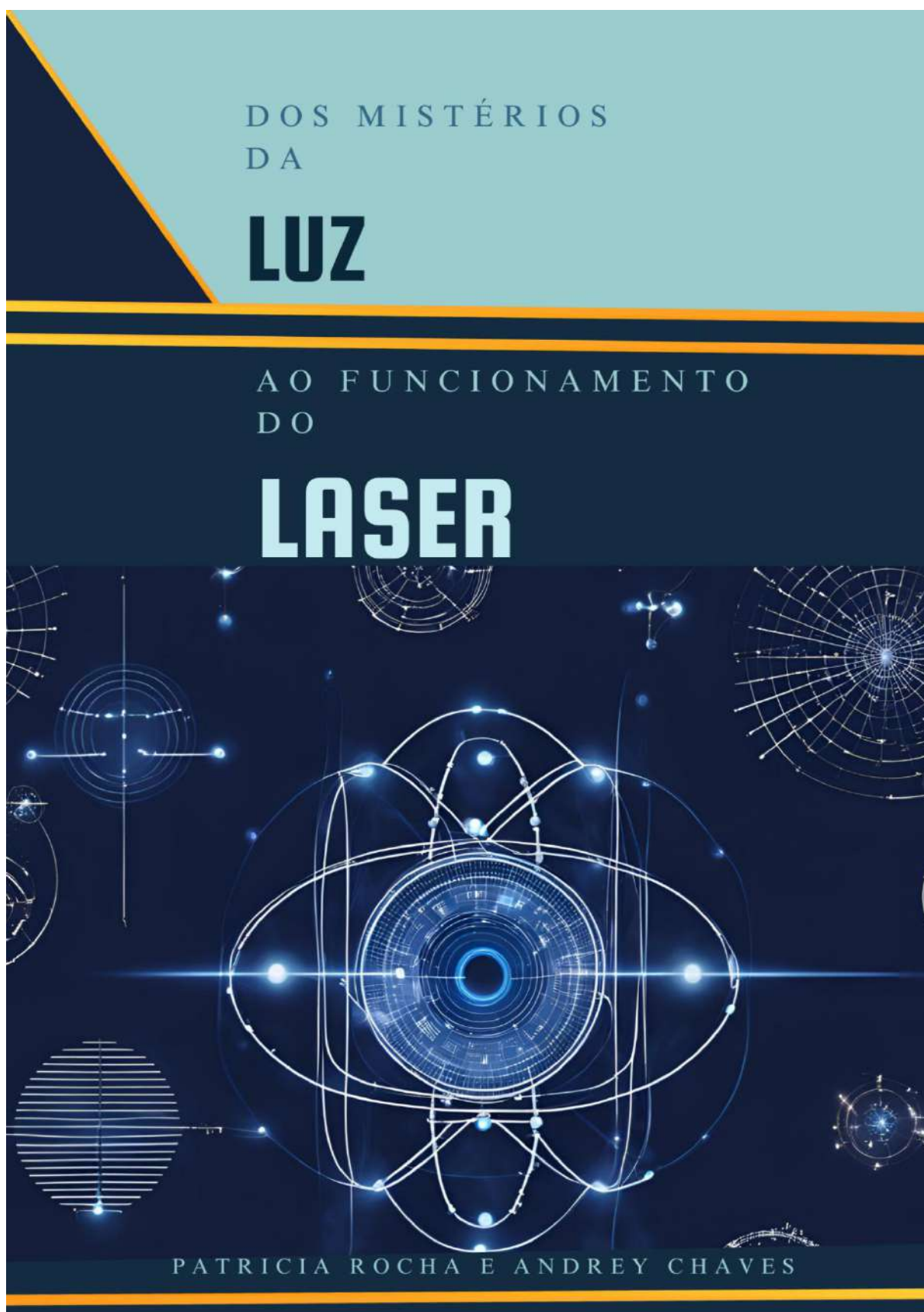
TIRONI, C. R. *et al.* A Aprendizagem Significativa no Ensino de Física Moderna e Contemporânea. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 9., 2013, Águas de Lindóia. **Anais [...]**. Águas de Lindóia: ABRAPEC, 2013.

VIEIRA, R. J. P. **Ensino de ondas eletromagnéticas no 9º ano do ensino fundamental por meio de uma situação problema**. 2016. 106 f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufjf.br/jspui/bitstream/ufjf/4084/1/rafaeljosepereiravieira.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2025.

VISCOVINI, R. C. Kit de Experimentos Ópticos com Apontador Laser. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 143-145, mar. 2000

YAMAGUCHI, K. K. de L. *et al.* Teste de chama: uso da transição eletrônica como ferramenta para o ensino de química no interior do Amazonas. **Revista de Extensão do IFAM**, Manaus, v. 6, n. 10, p. 127-134, dez. 2020. Disponível em: <https://nexus.ifam.edu.br/index.php/revista-nexus/article/view/125/126>. Acesso em: 9 fev. 2025.

APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL



SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO.....	3
AULA - APRESENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL.....	10
AULA 1 - ONDAS.....	16
AULA 2 - FÓTONS.....	35
AULA 3 - SALTO QUÂNTICO.....	50
AULA 4 - FÍSICA DOS MATERIAIS E O FUNCIONAMENTO DO LED.....	60
AULA 5 - LASER.....	73
AULA 6 - APLICAÇÕES DOS LEDS X LASER E AVALIAÇÃO FINAL.....	85
REFERÊNCIAS.....	94

APRESENTAÇÃO

O fascínio pela luz acompanha a humanidade desde os seus primórdios. A luz natural, que ilumina as atividades diárias, sempre foi motivo de investigação para muitos cientistas, pois o homem sempre teve a luz como um elemento essencial em sua vida. Assim, a luz ocupou uma posição de importância na nossa tentativa de compreender o mundo que nos rodeia.

O estudo da luz e de sua interação com os materiais tem sido de fundamental importância para o desenvolvimento de novas tecnologias e aplicações em diversas áreas, tais como a medicina, a engenharia, a arquitetura e outras. O LASER está presente nessas novas tecnologias e, por consequência, merece destaque, pois, até chegar à sua criação, foram debatidas diversas ideias, passando pelo LED e pelas formas como um elétron em um sólido ou gás pode absorver ou emitir luz de um fóton de luz.



O PRODUTO

Dos mistérios da Luz ao funcionamento do LASER é um produto educacional que busca despertar o interesse dos alunos pela Física da matéria e, especialmente, pelo funcionamento do LASER. O atual currículo de Física permeia diversos assuntos que formam o funcionamento do LASER, tais como Óptica, Ondas, Física Moderna e Mecânica Quântica. Pautado nos estudos da Física da matéria condensada, nosso produto educacional busca juntar os conhecimentos específicos dessa área com uma sequência didática que trabalhe com experimentos que auxiliem na compreensão dos alunos sobre o objetivo principal desse projeto, que é a compreensão do funcionamento do LASER. Identificamos que, embora o LASER seja amplamente utilizado em tecnologias modernas, é pouco explorado em sala de aula. Assim, consideramos essa realidade como um problema.

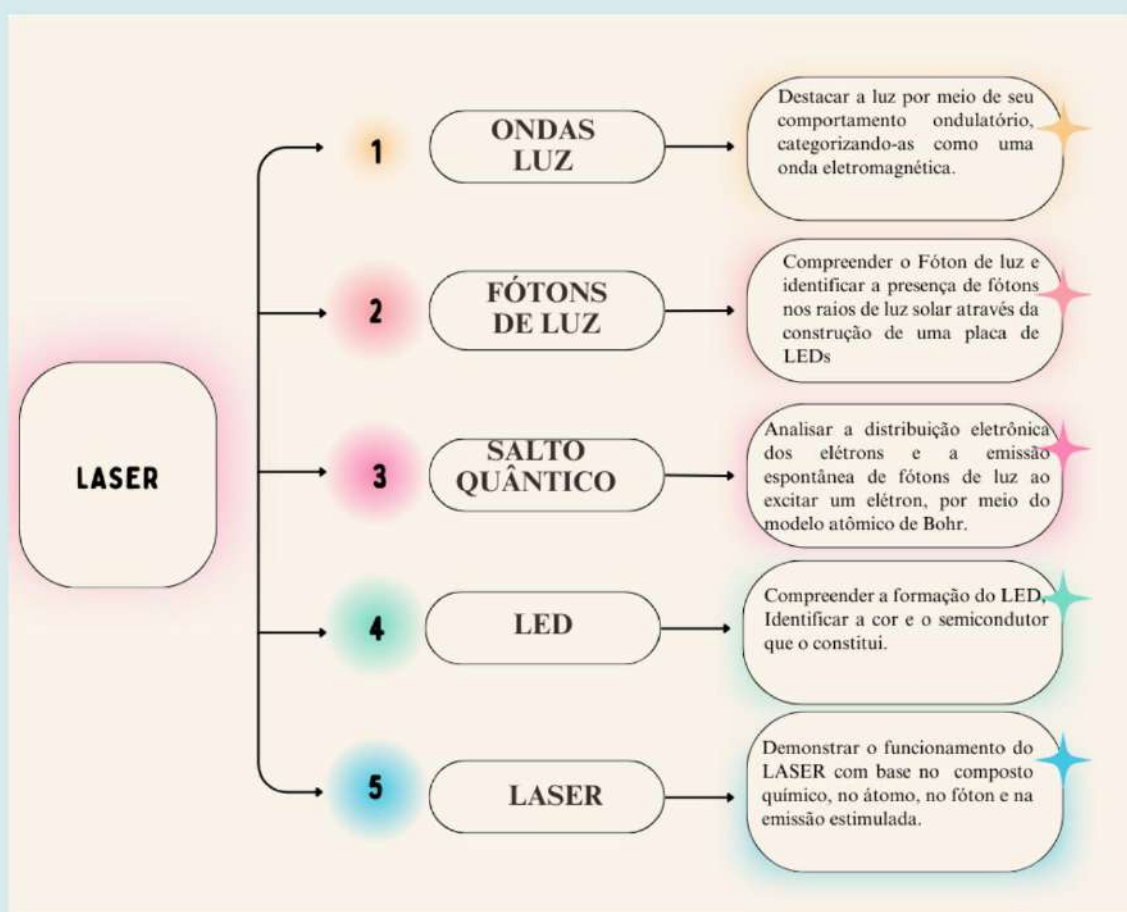


OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

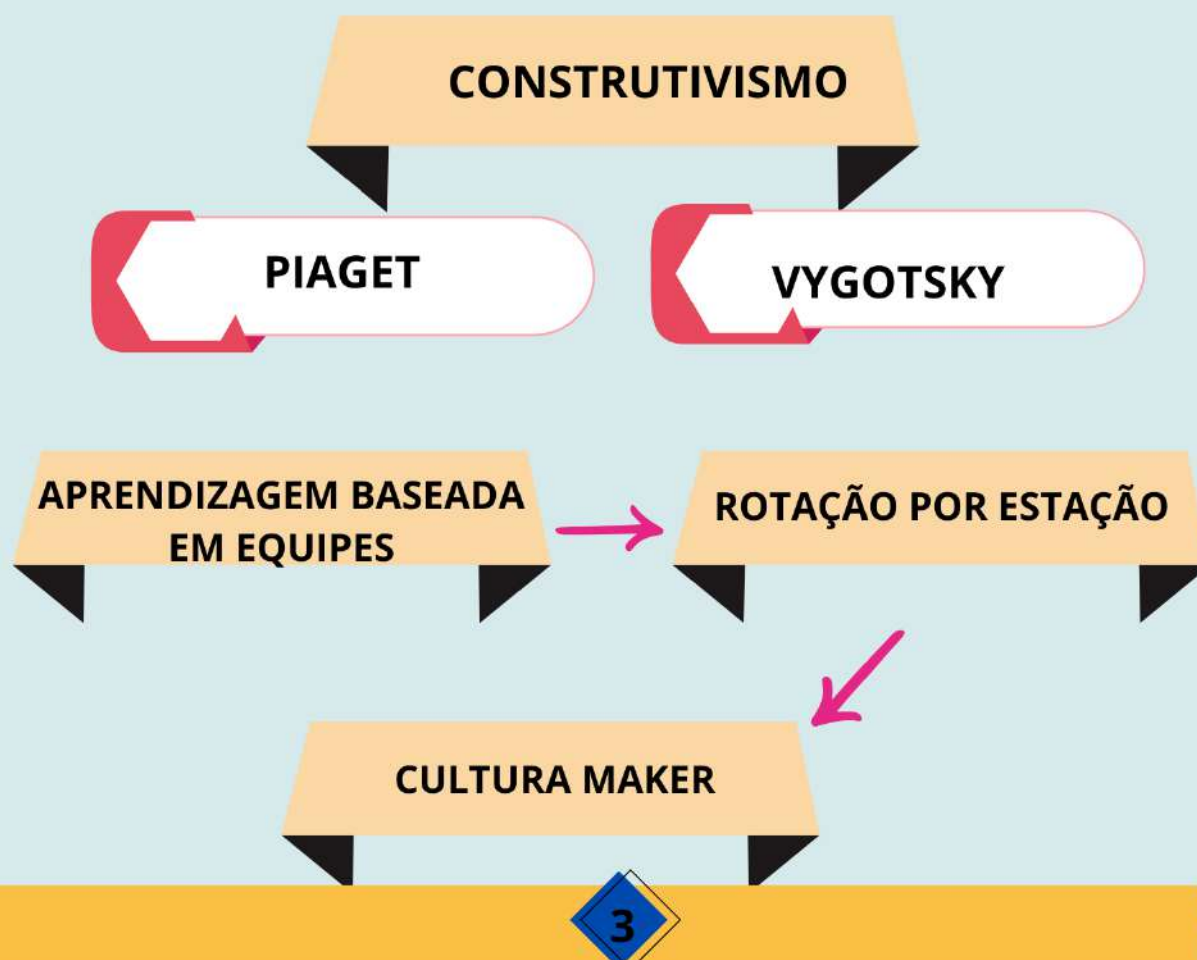
Compreender o funcionamento do LASER e os processos de emissão e absorção de luz por elétrons em sólidos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS



REFERENCIAL TEÓRICO PEDAGÓGICO

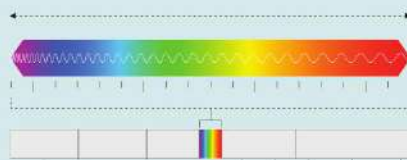
Utilizaremos uma abordagem de ensino construtivista pautada nas ideias de Piaget e Vygotsky em que os alunos participarão da construção do seu conhecimento sobre as principais ideias que levaram ao advento do equipamento que emite luz LASER. Também tomaremos como foco as metodologias ativas que buscam facilitar o interacionismo entre os alunos. Assim sendo, para a realização das atividades em equipe, usamos como metodologia ativa a metodologia de rotação, mais especificamente a rotação por estação, que permite aos alunos trabalharem juntos para aprenderem e construírem seus conhecimentos. Além disso, para o desenvolvimento de algumas atividades, desenvolvemos a cultura *maker*, que é um método de aprendizado na construção de seus saberes. Estas metodologias permitem que os alunos construam seus próprios entendimentos sobre o tema, além de levá-los ao nosso objetivo principal, que é a compreensão do funcionamento do LASER.



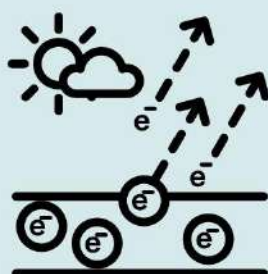
REFERENCIAL TEÓRICO DA FÍSICA

Para compreender o funcionamento do LASER, o aluno precisa construir e associar os conceitos básicos de ondas, a dualidade onda-partícula, as ondas eletromagnéticas, a matéria e a Mecânica Quântica do átomo de Bohr com a emissão de fótons, o Efeito fotoelétrico, o poço infinito e o decaimento em cascata que chegam ao LED, para enfim chegar ao funcionamento do LASER.

Em nosso material, os alunos serão guiados por uma jornada fascinante pelas teorias eletromagnéticas e quânticas que tornam possível compreender o funcionamento do LASER. Vamos mergulhar nas teorias fundamentais, como a Teoria Eletromagnética de Maxwell, em que James Clerk Maxwell, no século XIX, formulou um conjunto de equações que descrevem a propagação da luz como ondas eletromagnéticas. Essas equações unificaram os campos elétrico e magnético, revelando que a luz é uma forma de energia eletromagnética.

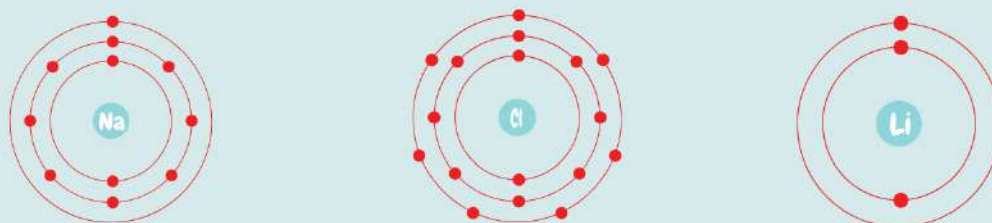


Abordaremos a hipótese de De Broglie, o qual concluiu que, assim como a luz visível, qualquer outra onda eletromagnética apresenta um comportamento dual, ou seja, uma partícula também apresentaria características ondulatórias. Em seguida, trabalharemos o efeito fotoelétrico, que foi explicado por Albert Einstein, em 1905. Ele demonstrou que a luz pode liberar elétrons de uma superfície metálica quando incidida sobre ela.



Com base no contexto dos fótons, não poderemos deixar de citar a Teoria de Planck, na qual Max Planck, no início do século XX, propôs que a energia é quantizada em pacotes discretos chamados “quanta”. Essa ideia revolucionária desafiou a visão clássica da física e nos ajuda a entender como os átomos emitem e absorvem energia em quantidades específicas.

Conhecendo a partícula “fóton”, agora associaremos ela à luz e investigaremos seu comportamento na matéria e a emissão estimulada de luz. Nosso foco está baseado no comportamento do elétron no átomo de Bohr e como esse comportamento explica a emissão de fótons em gases e sólidos.



Depois disso, passaremos então às propriedades elétricas que estão em condutores (como metais), isolantes (como vidro) e semicondutores. Eles são fundamentais para o funcionamento dos LASER, especialmente os LASER de diodo, que são um tipo de LASER semicondutor. Um diodo LASER é composto por uma junção p-n, que é a interface entre um material semicondutor tipo p (positivo) e um tipo n (negativo). A junção p-n é essencial para a operação do LASER de diodo que funciona com base no princípio da emissão estimulada de radiação.



Enfim, todas as teorias abordadas serão fundamentais para a compreensão da natureza quântica da luz e das partículas, e são especialmente relevantes no contexto do funcionamento do LASER, onde a luz é tratada tanto como onda quanto como partícula (fóton).

O LASER é constituído de um meio ativo (como um cristal ou gás), onde átomos excitados são estimulados a liberar fótons idênticos e coerentes. (Bretenaker & Treps, 2014). Essa emissão estimulada resulta na luz LASER altamente direcionada, com características únicas, como monocromaticidade, ou seja, ter apenas uma cor, e sua coerência de fase, que significa ter apenas uma direção.

Ao explorar as teorias que embasam o funcionamento do LASER, os estudantes estarão preparados para compreender o seu funcionamento e associá-lo às diversas áreas da ciência e tecnologia onde ele é aplicado.

METODOLOGIA

Nosso trabalho é um produto educacional, desenvolvido como critério para a aquisição do título de mestre em ensino de Física, abordando o funcionamento do LASER. Para se conseguir a compreensão do funcionamento desse dispositivo, trabalharemos conteúdos/conceitos teóricos básicos que formarão a construção do saber. Assim sendo, teremos uma sequência didática de 1 aula de apresentação do produto e 6 aulas, as quais terão como metodologia o construtivismo de Vygotsky e Piaget, associado à metodologia ativa de aprendizagem baseada em equipes e o método de rotação por estação.

Nunes (1990) *apud* Barbosa (2015) destaca que o construtivismo é uma teoria que trata sobre a origem do conhecimento. Esse considera que a criança passa por estágios para adquirir e construir o conhecimento, ou seja, a aquisição do conhecimento pode ser construída através de estágios. Assim sendo, nossa sequência didática segue estágios de conhecimentos com o intuito de levar os alunos à construção da compreensão do funcionamento do LASER.

O produto se destina principalmente a alunos do ensino médio, pois requer um pouco de conhecimento prévio sobre alguns conceitos do modelo atômico de Bohr e de conservação e conversão de energia.

Trabalharemos com a metodologia de trabalho em equipe com o método de rotações por estação: em cada aula, a equipe desenvolverá uma tarefa específica, passando por estações que auxiliarão na construção do conhecimento do aluno. Em cada aula haverá uma exposição dialogada dos objetivos da aula e uma orientação das teorias e conceitos do conteúdo em destaque, e os alunos serão convidados a fazerem ou experimentos, ou participarem de atividades dinâmicas em que cada grupo estará em uma estação. Sendo assim, o conjunto desta atividade é baseado em 3 momentos:

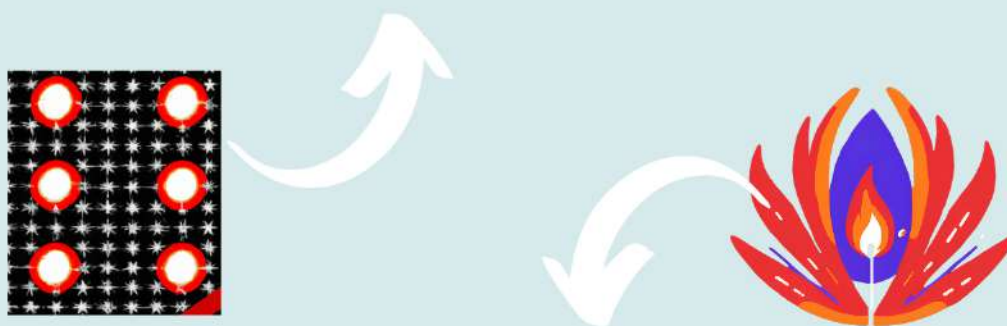


Na Aula de Apresentação do produto, organizamos 1 aula de 50 minutos. Abordamos o projeto, sua importância, seus objetivos e a motivação para trazer o estudo sobre o funcionamento do LASER. Mostramos a sequência didática e as metodologias que serão utilizadas para o desenvolvimento do projeto. Em seguida, sugerimos um questionário investigativo, denominado “avaliação diagnóstica”, para identificar o que os alunos sabem sobre o funcionamento do LED e do LASER, que será apresentado em 10 questões na forma de um formulário acessado através de QR code. Em seguida, trabalhamos com a formação das equipes que realizarão as tarefas em conjunto e com solução de problemas que serão trabalhados no decorrer das aulas. Veja a seguir um mapa com a sequência das 6 aulas que trabalharam o assunto:



Seguindo essa sequência didática, na aula seguinte se aplica a AULA 1, em que seguiremos em um caminho onde, no primeiro tempo de aula, apresentamos o conceito de onda e a relação da onda com o eletromagnetismo, levando ao conceito de onda eletromagnética. Após a aula expositiva e dialogada, os alunos seguirão em um “circuito das luzes”, em que cada estação trabalhará um tipo de luz/onda eletromagnética: na estação 1, os alunos medem a velocidade da luz com as micro-ondas usando um aparelho de forno de micro-ondas; na estação 2, os alunos trabalham com a luz visível e formação do espectro contínuo de luz; na estação 3, os alunos trabalham com a luz infravermelha, e a radiação de calor medida por um termômetro de luz infravermelha; e na estação 4, os alunos fazem um teste com protetor solar para verificar a presença da luz ultravioleta.

Nos dois tempos seguintes de aula, ou seja, na AULA 2, retomaremos o conceito de onda eletromagnética e explicaremos o comportamento da dualidade onda-partícula. Para tanto, mostraremos o experimento da dupla fenda de Thomas Young e a característica corpuscular da teoria de De Broglie. Abordaremos a quantização de energia e o efeito fotoelétrico de Hertz e Einstein. Compreendendo que a luz são fótons e que esses são capazes de remover elétrons de uma superfície, faremos protótipos de placas solares de LEDs, utilizando LEDs de cores distintas, e cada equipe construirá e verificará a tensão absorvida pela sua placa, a fim de observarem a absorção de fótons e o efeito fotoelétrico.



Na AULA 3, trabalharemos o conceito de *luz estimulada*, através da emissão de luz quando um elétron que recebeu energia de uma chama de fogo retorna para a sua camada mais estável no átomo. Assim, para verificar a emissão de luz, trabalharemos o átomo de Bohr e o salto quântico entre seus níveis de energia discretos. Faremos uma experiência no laboratório de ciências com o experimento denominado “teste da chama”, em que os alunos verificarão as cores emitidas para os diferentes compostos químicos. Em cada estação irá conter um composto químico diferente e as equipes farão a rotação entre as estações.

A AULA 4 traz um conteúdo que já é muito similar ao do funcionamento do LASER. Compreenderemos semicondutores e sua emissão estimulada de luz. Nesse contexto, explicaremos a formação de semicondutores dopados, a dopagem dos semicondutores, a emissão de luz, o conceito de poço infinito e o decaimento em cascata. Associamos os semicondutores aos LEDs. Então, com base na formação da luz pelos semicondutores, em estações, os alunos descobrirão, através de uma tabela, de que compostos químicos os LEDs que eles usaram para construir suas placas são feitos.

A AULA 5 é a aula em que, finalmente, associaremos todos os conteúdos estudados à compreensão do funcionamento do LASER. Nessa aula, explicaremos como a luz LASER é formada e emitida, apresentaremos o conceito de coerência e explicaremos a estrutura do LASER e seus componentes. A atividade interativa desta aula consiste em medir o diâmetro da luz emitida por uma ponteira LASER e uma lanterna LED, a fim de comparar a característica de colimação do LASER. Assim, os alunos realizam a medida do diâmetro após projetar as luzes em distâncias distintas.



A AULA 6 trabalhará com a aplicação dos LASER e dos LEDs através de aulas interativas. Baseado no que já aprendemos, os alunos em suas equipes trabalharão apenas em duas atividades que envolvem os LEDs e LASERs. A primeira atividade é a “Caça ao Tesouro Tecnológico”, em que os alunos em suas equipes passarão por um sorteio em que serão definidas 2 equipes para LEDs e 2 para LASER. Cada equipe trabalhará uma área de aplicação do LASER ou do LED (por exemplo, medicina, comunicação, indústria, entretenimento). As equipes devem pesquisar e criar um mapa conceitual ou infográfico que represente as diferentes aplicações e avanços tecnológicos nessa área, destacando o papel do LASER ou do LED. Os alunos podem incluir exemplos específicos de tecnologias e dispositivos em seus mapas conceituais. Em seguida, os mesmos farão a segunda tarefa, que é o “Desafio de Design de Produto”, em que os alunos serão desafiados a criar um novo produto que incorpore tanto o LASER quanto o LED de forma inovadora na área em que eles foram sorteados. Cada equipe deve desenvolver um conceito de produto, criar um protótipo simples (pode ser um desenho, maquete ou modelo digital). Após a criação do protótipo, os alunos darão um nome ao seu protótipo, que será exposto no corredor para que os demais alunos da instituição possam observar o estudo do LASER.

A avaliação do produto educacional será realizada no final da aula 6, através de um “formulário Google”.



APRESENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

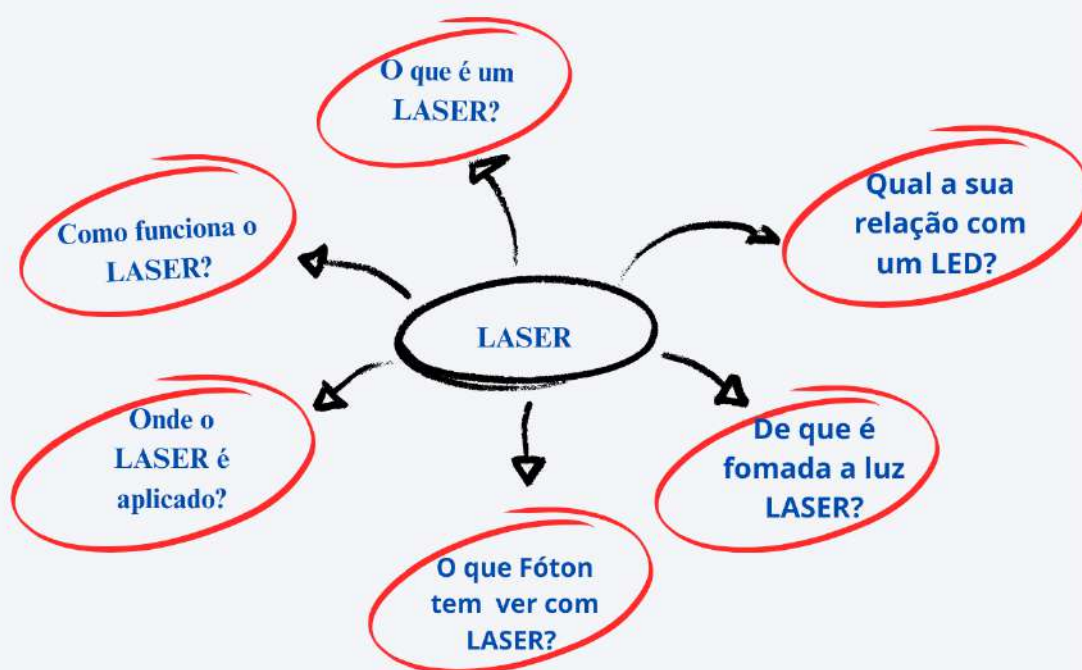
OBJETIVOS

- Apresentar o produto educacional.
- Explicar sobre a importância de compreender o funcionamento do LASER.
- Solicitar adesão aos alunos por meio de formulário.
- Identificar os conhecimentos prévios dos alunos.

MOMENTOS DA AULA

1º MOMENTO: APRESENTAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL E DISCUSSÃO SOBRE: COMO FUNCIONA O LASER? (05 MINUTOS)

Esse produto é uma sequência didática que abordará o funcionamento do LASER. O mesmo traz conteúdos teóricos básicos que auxiliarão o aluno na compreensão do funcionamento do LASER. Vamos fazer um breve *brainstorming* sobre o LASER:



2º MOMENTO: FORMULÁRIO DE ADESÃO (3 MINUTOS)

Compreender o funcionamento físico dos materiais óptico-eletrônicos, assim sendo, solicitamos dos alunos a participação no desenvolvimento do projeto, destacando o seu interesse em participar das atividades. Usamos um QR CODE contendo o termo de aceitação.

TERMO DE ACEITAÇÃO

Nome Completo:

Turma:

Você está de acordo em participar das atividades que serão aplicadas com o produto educacional que aborda sobre o funcionamento de materiais eletrônicos LED (Light Emitting Diode, que significa Diodo Emissor de Luz em português) e LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, que significa Amplificação de Luz por Emissão Estimulada de Radiação)?

Sim



Não



QR Code



3º MOMENTO: AVALIAÇÃO DIAGNOSTICA (20 MINUTOS)



AVALIAÇÃO DIAGNOSTICA (20 MINUTOS)

- 1) Qual é a diferença entre luz visível e outras radiações eletromagnéticas?
 - (A) A luz visível tem maior comprimento de onda que as outras radiações.
 - (B) A luz visível é a única forma de radiação que pode ser percebida pelo olho humano.
 - (C) A luz visível tem menor energia que todas as outras radiações.
 - (D) A luz visível não interage com a matéria.

- 2) O que é o efeito fotoelétrico?
 - (A) Emissão de elétrons de um metal quando ele é aquecido.
 - (B) Emissão de elétrons de um metal quando ele é iluminado com luz de alta frequência.
 - (C) Emissão de luz quando um elétron salta de uma órbita para outra.
 - (D) Absorção de luz por um elétron.

- 3) Como o efeito fotoelétrico está relacionado ao funcionamento de um LED?
 - (A) LEDs utilizam o efeito fotoelétrico para emitir luz.
 - (B) LEDs utilizam o efeito fotoelétrico para gerar eletricidade.
 - (C) LEDs dependem da emissão de fótons devido à recombinação de elétrons e buracos.
 - (D) LEDs utilizam o efeito fotoelétrico para absorver luz.

- 4) Como os saltos quânticos geram luz?
 - (A) Os elétrons saltam para níveis de energia mais altos e emitem luz.
 - (B) Os elétrons saltam para níveis de energia mais baixos e emitem luz.
 - (C) A luz é gerada quando os elétrons permanecem no mesmo nível de energia por muito tempo.
 - (D) Os elétrons vibram, emitindo luz.

- 5) Explique o princípio de funcionamento de um LED.
 - (A) Emissão de luz por aquecimento de um filamento.
 - (B) Emissão de luz por recombinação de elétrons e buracos em um semicondutor.
 - (C) Emissão de luz por radiação de corpo negro.
 - (D) Emissão de luz por excitação de gases.

- 6) Como a cor emitida por um LED depende dos materiais semicondutores?
 - (A) A cor depende do tamanho do LED.
 - (B) A cor depende da corrente elétrica aplicada.
 - (C) A cor depende dos materiais semicondutores e da energia de bandgap.
 - (D) A cor depende do formato do LED.

- 7) O que é emissão estimulada e por que é importante para o LASER?
 - (A) Emissão de luz por excitação térmica, crucial para LASER.
 - (B) Emissão de luz por recombinação de elétrons e buracos.
 - (C) Emissão de fótons induzida por fótons incidentes, resultando em luz coerente.
 - (D) Emissão de fótons por absorção de energia.

- 8) Qual é a diferença entre a luz de um LASER e a luz de um LED?
 - (A) A luz de um LASER é incoerente e divergente.
 - (B) A luz de um LED é coerente e monocromática.
 - (C) A luz de um LASER é coerente, monocromática e colimada.
 - (D) A luz de um LED é polarizada.

4º MOMENTO: APRESENTAÇÃO DA METODOLOGIA DO PROJETO. (05 MINUTOS)

O projeto trabalhará com a metodologia baseada no construtivismo, o qual é um modelo pedagógico que busca fornecer aos alunos ferramentas que lhes permitam construir seus aprendizados. Esse modelo pedagógico é pautado nas tendências de Lev Vygotsky e Jean Piaget.

Vygotsky centra o saber na influência das interações para a construção do conhecimento, enquanto Piaget investiga como as pessoas constroem seu conhecimento e associam as informações.

Relacionamos o construtivismo a uma prática de metodologia ativa denominada rotação por estação, na qual os alunos realizam a interação entre seus pares para construir seus conhecimentos. As aulas serão organizadas em um primeiro momento de exposição dialogada e em um segundo momento atividades de interação em rotações.

5º MOMENTO: ROTAÇÃO POR ESTAÇÃO (05 MINUTOS)

É uma metodologia de educação ativa, em que os alunos realizam a interação com o conteúdo para concretizar a construção de seu conhecimento. Em grupo de 5 a 6 alunos, seguirão em cada estação realizando uma atividade e/ou experimento.

A seleção dos alunos por grupo será por afinidade, lembrando que a realização das atividades nas estações não tem caráter competitivo - a intenção é apenas a interação para a aquisição do conhecimento.

6º MOMENTO: FORMAÇÃO DAS EQUIPES (07 MINUTOS)

Como trabalharemos com 2 ou 4 estações, optaremos por ter sempre 4 equipes. Acreditamos que essa metodologia de ensino permite que os alunos aprendam a trabalhar em um ritmo que seja adequado para eles, enquanto se envolvem com uma variedade de atividades e modalidades de aprendizado.



AULA 1

ONDAS

- Tipos de Ondas
- Eletromagnetismo
- Ondas Eletromagnéticas
- Circuito das Luzes do cotidiano

● ONDAS

OBJETIVOS DO 1º TEMPO (50 MINUTOS):

1. Abordar o conceito de onda e suas classificações.
2. Abordar o Eletromagnetismo e a definição da onda eletromagnética.
3. Associar a luz às ondas eletromagnéticas.
4. Apresentar o conceito de “espectro” das ondas eletromagnéticas.

OBJETIVOS DO 2º TEMPO (100 MINUTOS):

ATIVIDADE CIRCUITO DAS LUZES DO COTIDIANO.

1. Luz Micro-ondas: Calcular a velocidade da luz com um micro-ondas.
2. Luz Visível: Identificar as diversas frequências (cores) da luz visível por meio do *espectro* de luz, usando um prisma.
3. Luz Infravermelha: Registrar a luz infravermelha com um controle remoto e identificá-la através do registro da temperatura de corpos com um termômetro infravermelho.
4. Luz ultravioleta: Ver o “invisível” usando uma lanterna ultravioleta.

Leitura Complementar

1. Fundamentos de Física - Vol. 2 -
Cap. 162. Fundamentos de Física - Vol. 3
- Cap. 32

1º TEMPO (50 MINUTOS):

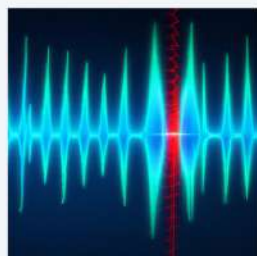
ONDAS

As ondas são fenômenos ondulatórios que se propagam através de um meio, transportando energia sem transportar matéria. Elas desempenham um papel fundamental em diversas áreas, desde a física até as comunicações.

TIPOS DE ONDAS

Ondas Mecânicas

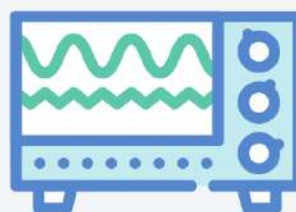
Ondas que se propagam através de um meio *material*, como o som, as ondas na superfície da água e as ondas sísmicas.



Ondas

Eletromagnética

Ondas que não necessitam de um meio *material* para se propagar, como a luz visível, as micro-ondas, os raios-X, as ondas de rádio etc.



A Luz: A natureza da luz vem sendo discutida há milhares de anos.

HISTÓRIA DA LUZ

1.000 a.c

AL-HAYTHAM

É considerado o primeiro a entender que a visão ocorre quando a luz reflete de um objeto e passa pelos olhos do observador, e que o reconhecimento da imagem acontece no cérebro, não nos olhos. al-Haytham (965 a.c. - 1040 a.c.)

1666

ISAAC NEWTON

Newton foi um dos pioneiros da óptica, desenvolvendo teorias fundamentais sobre a natureza da luz e a propagação de ondas eletromagnéticas.

1800

THOMAS YOUNG

Young demonstrou experimentalmente a natureza ondulatória da luz, estabelecendo os princípios de interferência e difração que revolucionaram a compreensão da óptica.

1862

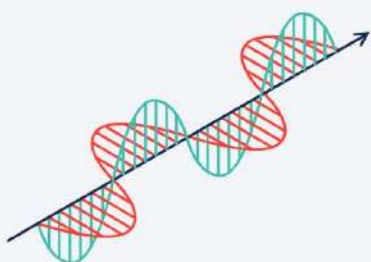
JAMES MAXWELL

Maxwell unificou os campos elétrico e magnético, formulando as equações que descrevem a propagação da luz como uma onda eletromagnética.

ELETROMAGNETISMO

James Clark Maxwell foi um físico escocês que desempenhou um papel fundamental na unificação das leis do eletromagnetismo. Ele realizou a integração da luz com o magnetismo, unificando as leis de Coulomb, Ampère, Faraday e Lenz. Essa unificação é conhecida como as Leis de Maxwell.

ONDAS ELETROMAGNÉTICA



Maxwell imaginou que as oscilações dos campos elétrico e magnético poderiam se propagar como ondas mecânicas, então ele calculou a velocidade de propagação dessas ondas, obtendo o valor de aproximadamente 299.792.458 m/s, que reconheceu como sendo o valor da velocidade da luz.

EQUAÇÕES DE MAXWELL:

Em 1864, Maxwell obteve uma série de equações fundamentais do eletromagnetismo e previu a existência de ondas eletromagnéticas. Maxwell supôs que a luz representava uma pequena porção do espectro das ondas eletromagnéticas.

Lei de Gauss para o campo elétrico:

Relaciona o campo elétrico com a densidade de carga elétrica.

Lei de Faraday da Indução Eletromagnética:

Descreve a indução eletromagnética, base do funcionamento de geradores e motores.

Lei de Gauss para o campo magnético :

Afirma que não existem cargas magnéticas isoladas (monopolos magnéticos).

Lei de Ampère-Maxwell:

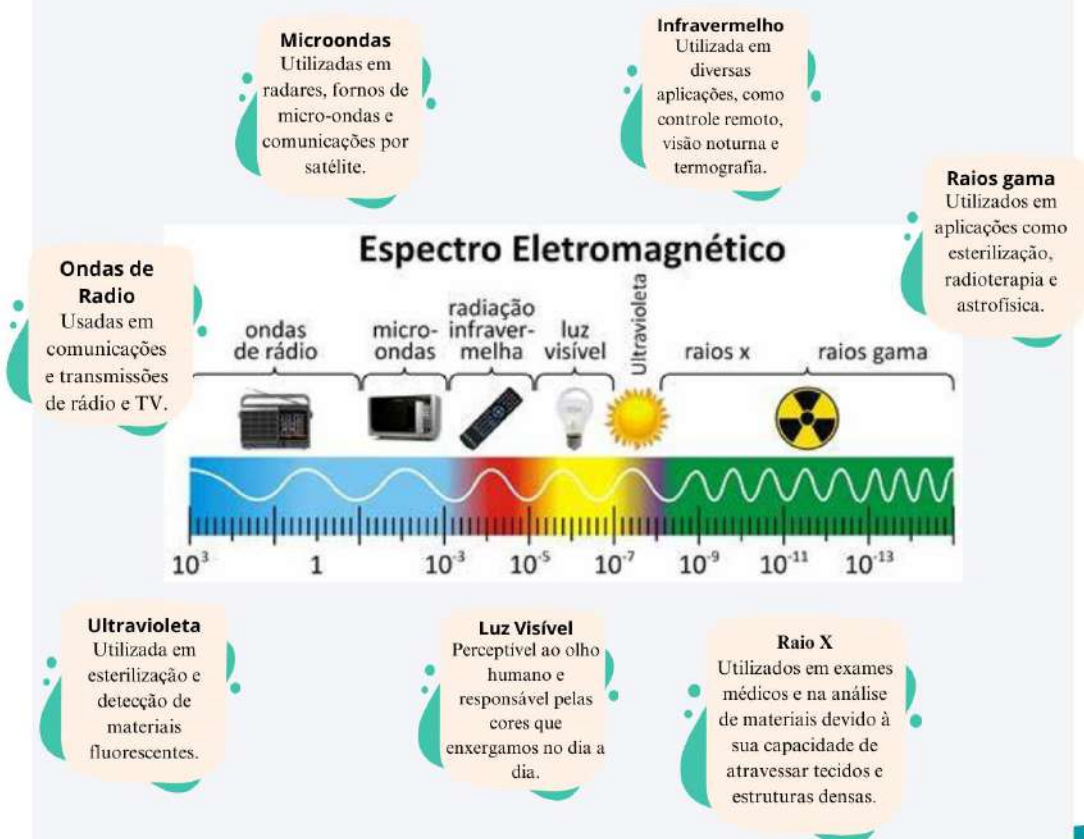
Estabelece a relação entre o campo magnético e as correntes elétricas.

VELOCIDADE DA ONDA

A luz é um fenômeno físico complexo que pode ser entendido de várias maneiras. Aqui estão algumas definições: A luz é uma forma de radiação eletromagnética cuja frequência pode ou não torná-la visível ao olho humano. Ela pode propagar-se no vácuo com velocidade de aproximadamente 300 mil km/s. As frequências de luz que são visíveis ao olho humano são chamadas de espectro visível - essas ondas têm comprimentos entre 400 nm e 700 nm.

ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO

O espectro eletromagnético é uma escala que representa todas as possíveis frequências de radiações eletromagnéticas. Ele se estende desde as ondas de rádio, que têm a menor frequência e o maior comprimento de onda, até os raios gama, que têm a maior frequência e o menor comprimento de onda.



VELOCIDADE DA ONDA

Hertz realizou uma série de experimentos na década de 1880 que provaram a existência das ondas eletromagnéticas. Ele construiu um oscilador que gerava ondas de rádio e um receptor que captava essas ondas. Hertz observou que as ondas se propagavam pelo ar, se refletiam em superfícies e interferiam de forma consistente com as teorias de Maxwell.

A velocidade da onda pode ser obtida pela relação entre a velocidade da onda, a frequência e o comprimento de onda, que são uma das expressões fundamentais na física das ondas. Essa relação é expressa pela fórmula:

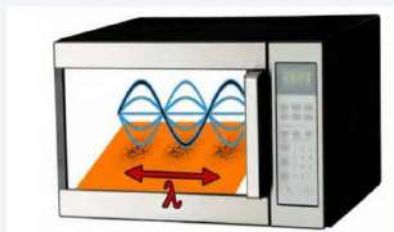
$$v = \lambda \cdot f$$

Onde:

- v é a velocidade da onda,
- λ é o comprimento de onda, que é a distância entre dois pontos consecutivos em fase (por exemplo, de um pico ao próximo pico),
- f é a frequência da onda, que é o número de oscilações ou ciclos por unidade de tempo.

ONDAS ESTACIONÁRIAS NO MICRO-ONDAS

Ondas estacionárias em um forno de micro-ondas são um fenômeno importante para entender como esse eletrodoméstico aquece os alimentos. As micro-ondas utilizam radiação eletromagnética na faixa das micro-ondas (geralmente em torno de 2,45 GHz) para aquecer a comida. As ondas estacionárias formadas dentro do forno são um resultado direto das reflexões das ondas eletromagnéticas nas paredes metálicas do forno.



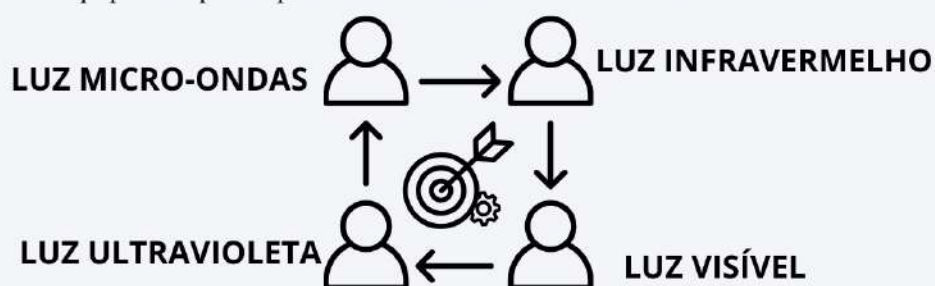
Ao colocar um alimento no micro-ondas, ele sofre absorve a energia dos picos da onda estacionária. Dessa forma, para calcularmos a velocidade da luz com micro-ondas, podemos medir a distância entre esses picos, sendo a metade de um comprimento de onda, em seguida multiplicar por dois e fazer o produto com a frequência do micro-ondas - aprenderemos sobre isso na prática na atividade “Circuito das Luzes”.

2º TEMPO DE 50 MINUTOS

CIRCUITO DAS LUZES DO COTIDIANO

Orientações ao professor:

Em equipes formadas na aula de apresentação do produto educacional, os alunos irão percorrer a escola em busca das luzes de nosso cotidiano. Teremos 4 estações denominadas: luz visível, luz infravermelho, luz ultravioleta e luz micro-ondas. Em cada ponto da escola está montada uma estação, na qual eles receberão uma orientação, uma atividade de observação ou experimental para realizar e terão que resolver 3 a 4 questões sobre a luz em questão. Porém, os alunos farão 3 estações em 50 minutos e a estação da luz micro-ondas em 50 minutos, a fim de calcular a velocidade da luz. A seguir estão descritas as estações, atividades de observação e/ou experimentais e o questionário que será fornecido na estação através de QRCode. Para responder ao questionário, cada equipe tem que ter pelo menos 1 aluno com acesso à internet.



Em cada estação, os alunos irão ler um pequeno texto contendo uma abordagem sobre a luz ser uma onda eletromagnética. Enquanto um grupo está em uma estação, os demais grupos estarão nas outras estações, podendo ter no máximo 2 grupos na mesma estação, seguindo a seguinte sequência:

GRUPO 1

- LUZ MICRO-ONDAS
- LUZ VISÍVEL
- LUZ INFRAVERMELHA
- LUZ ULTRAVIOLETA

GRUPO 2

- LUZ MICRO-ONDAS
- LUZ INFRAVERMELHA
- LUZ ULTRAVIOLETA
- LUZ VISÍVEL

GRUPO 3

- LUZ MICRO-ONDAS
- LUZ ULTRAVIOLETA
- LUZ VISÍVEL
- LUZ INFRAVERMELHA

GRUPO 4

- LUZ MICRO-ONDAS
- LUZ ULTRAVIOLETA
- LUZ VISÍVEL
- LUZ INFRAVERMELHA

ESTAÇÃO LUZ MICRO – ONDAS

A radiação de micro-ondas é uma forma de energia eletromagnética com comprimentos de onda que variam de um milímetro a um metro. Ela é amplamente utilizada em tecnologias modernas, como em fornos de micro-ondas, onde a energia das micro-ondas é usada para aquecer alimentos. As redes de telefonia móvel, incluindo o 5G, também usam micro-ondas para transmitir informações. Além disso, os satélites de comunicação usam micro-ondas para enviar e receber sinais do espaço. No cotidiano, encontramos a radiação de micro-ondas em dispositivos como telefones celulares, Wi-Fi e até mesmo em sistemas de radar usados para previsão do tempo e navegação aérea. Portanto, a radiação de micro-ondas desempenha um papel crucial em muitas facetas de nossa vida diária.

EXPERIMENTO LUZ MICRO-ONDAS

OBJETIVO: Verificar a velocidade da luz com micro-ondas.

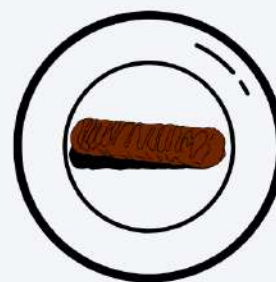
Materiais:

- Micro-ondas.
- Kit de experimento.

Kit de experimento:

- 1 Barra de chocolate.
- 1 Par de Luvas.
- 1 Prato refratário.
- 1 Régua.
- 1 folha para os cálculos.
- 1 pano de limpeza.

Obs.: O prato e o suporte do prato do micro-ondas já serão removidos antes do experimento.



Observação: use o micro-ondas sem prato e sem suporte.

Procedimento:

1. Abra o kit de experimento.
2. O aluno responsável pela colocação da barra de chocolate no micro-ondas deve colocar as luvas.
3. Retire o insulfilme do prato e coloque o prato com chocolate dentro do micro-ondas em posição horizontal, como na foto acima. Registre por foto.
4. Ajuste o micro-ondas para um tempo de 00:20 (20 segundos).
5. Ligue o micro-ondas e, após finalizar o tempo, retire o prato com cuidado do micro-ondas.
6. Verifique no chocolate os dois pontos que derreteram. Meça a distância entre os pontos onde o chocolate derreteu. Esses pontos correspondem aos picos das ondas de micro-ondas, então a distância entre eles é metade do comprimento de onda das micro-ondas. Registre em fotos a medida.

VELOCIDADE DA LUZ

- Multiplique a medida por dois para determinar o comprimento de onda. Em seguida, divida por 100 para passar a unidade de centímetros para metros.
- Multiplique o comprimento de onda pela frequência do micro-ondas (2450000000Hz).
- Registre por foto os cálculos que levam ao valor encontrado.
- Taxa de erro: Subtraia o valor encontrado e o valor da velocidade da luz (299 792 458 m/s), em seguida divida o valor encontrado por 299 792 458 m/s, que é a velocidade da luz, e multiplique por 100.
- Aponte o celular para o QR Code e faça o que se pede no formulário.



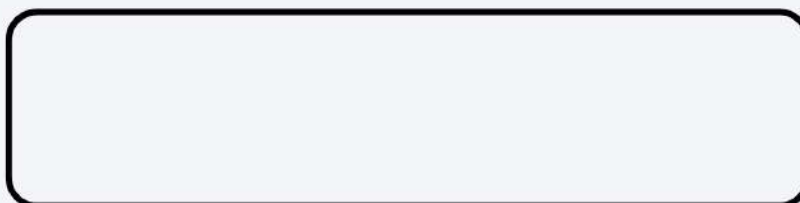
QUESTÕES SOBRE A LUZ MICRO-ONDAS

Aponte o celular para o QR code e responda às questões sobre a luz micro-ondas.

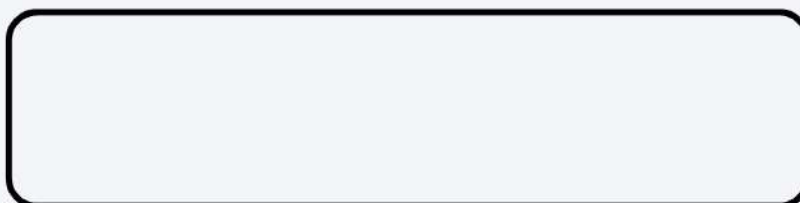


QUESTÕES SOBRE A LUZ MICRO-ONDAS

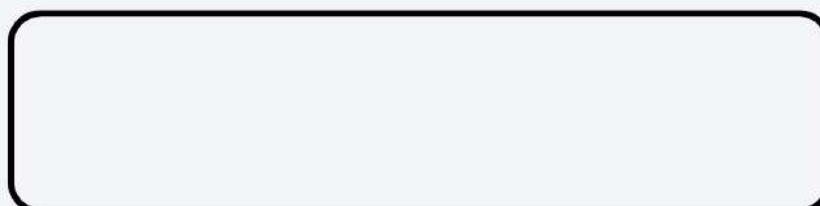
1. Anexe as fotos do seu experimento.



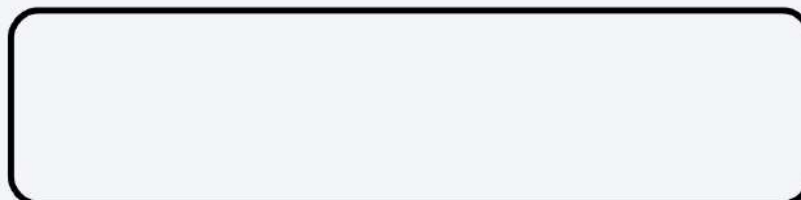
2. Qual foi o valor da velocidade da luz encontrada? Anexe a imagem do cálculo da velocidade da luz.



3. Qual foi a porcentagem da taxa de erro do seu experimento? Anexe a foto do cálculo da taxa de erro.



4. Explique por que o micro-ondas consegue cozinhar, derreter, descongelar alimentos.



3º tempo de 50 minutos

ESTAÇÃO LUZ VISÍVEL

A luz visível é uma pequena parte do espectro eletromagnético, que nossos olhos são capazes de perceber. Ela é composta por várias cores, cada uma correspondendo a um comprimento de onda (e frequência) específico. O vermelho tem o maior comprimento de onda, cerca de 700 nanômetros, e o violeta tem o menor, cerca de 400 nanômetros. As cores do arco-íris - vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, anil e violeta - representam esse espectro contínuo de luz visível. Quando todos esses comprimentos de onda são combinados, percebemos a luz como branca. A cor de um objeto é determinada pelos comprimentos de onda de luz que ele reflete, absorve ou emite. Realize o experimento e, em seguida, responda às questões.

EXPERIMENTO LUZ VISÍVEL

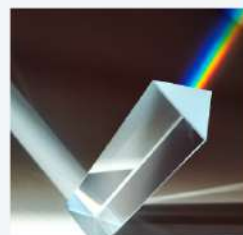
OBJETIVO: Visualizar o espectro contínuo de luz.

Materiais em uma caixa:

- Um prisma de vidro.
- Luz do sol.
- Uma folha de papel branco.

Procedimento:

1. Coloque a folha de papel branco em uma superfície em que o sol esteja incidindo.
2. Posicione o prisma com o raio do sol que está chegando no papel.
3. Procure o espectro contínuo de luz que se dispersou e que atravessou o prisma.
4. Observe o espectro de cores que aparece na folha de papel. Você deve ver as cores do arco-íris: vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, anil e violeta.
5. Registre por foto o espectro contínuo de luz que foi visualizado.
6. Desmonte o experimento e coloque-o de volta na caixa para a realização do experimento por outra equipe.



Explicação: Quando a luz passa pelo prisma, ela é refratada, ou seja, muda de direção. Como cada cor na luz tem um comprimento de onda diferente, cada cor é refratada em um ângulo ligeiramente diferente, fazendo com que a luz se separe em um espectro de cores. Isso é conhecido como dispersão da luz.

Agora aponte a câmera para o QR Code e responda às questões sobre a luz visível.



Cole o seu QR code aqui

QUESTÕES SOBRE A LUZ VISÍVEL

1. Escreva as cores que vocês conseguiram visualizar no experimento?

2. O que é a dispersão da luz?

3. Anexe a Foto do experimento.

ESTAÇÃO LUZ INFRAVERMELHA.

A luz infravermelha é uma forma de radiação eletromagnética que é invisível ao olho humano, mas pode ser sentida como calor. Ela tem um comprimento de onda mais longo do que a luz visível, variando de cerca de 700 nanômetros a 1 milímetro. A luz infravermelha tem muitas aplicações práticas, incluindo uso em tecnologias de imagem térmica, telecomunicações, meteorologia e medicina. Por exemplo, as câmeras infravermelhas podem detectar áreas de calor e são usadas em vigilância noturna. Na medicina, a terapia infravermelha é usada para aliviar a dor e melhorar a circulação. A luz infravermelha também é emitida pelo sol e é uma das razões pelas quais sentimos calor do sol.

EXPERIMENTO LUZ INFRAVERMELHO

OBJETIVO: Visualizar a luz infravermelha.

Materiais em uma caixa:

- Controle remoto de TV.
- Termômetro infravermelho.



Procedimento:

1. Pegue o controle remoto e aponte o LED do controle para a câmera do celular.
2. Aperte uma tecla do controle remoto e visualize a cor infravermelho que é detectada pela câmera do celular.
3. Registre por foto a luz do LED acesa no controle remoto.
4. Use o termômetro que registra a temperatura por radiação infravermelha para registrar a temperatura das paredes interna e externa da biblioteca.
5. Anote os resultados.
6. Devolva os materiais para dentro da caixa para a realização do experimento por outra equipe.
7. Aponte o celular para o QRcode e responda às questões sobre a luz infravermelha.

QUESTÕES SOBRE A LUZ INFRAVERMELHA.

Aponte o celular para o QR code e responda às questões sobre a luz infravermelha.



QUESTÕES SOBRE A LUZ INFRAVERMELHA.

1. Por que não conseguimos visualizar o LED do controle remoto acendendo apenas com os olhos?

2. Anexe a foto do registro do LED infravermelho funcionando.

3. Registre os valores encontrados nas temperaturas da parede interna e externa da biblioteca.

Temperatura da parede interna: _____

Temperatura da parede externa: _____

4. Explique a diferença de temperatura entre a parede interna e externa da biblioteca. Que lado da parede está com temperatura mais alta e por quê?

ESTAÇÃO LUZ ULTRAVIOLETA.

A luz ultravioleta (UV) é uma forma de radiação eletromagnética, situada no espectro entre a luz visível e os raios X. Ela tem uma variedade de aplicações no cotidiano. A luz ultravioleta pode ser vista em nosso cotidiano em alguns que possuem substâncias fluorescentes. Protetores solares são essenciais para proteger a pele contra os danos causados pela exposição ao sol. Eles absorvem a luz UV, prevenindo queimaduras solares e reduzindo o risco de câncer de pele. Outras aplicações da luz UV são a purificação de água e ar, pois é capaz de matar ou inativar micro-organismos. Também é usada na medicina, por exemplo, no tratamento de condições de pele como psoríase. Elementos com quinina são ativados sob a exposição à luz negra. Assim, nosso experimento será a identificação das cores emitidas por amostras de materiais expostos em uma cabine de luz ultravioleta.

OBJETIVO: Entender mais sobre a luz ultravioleta (UV) e identificar a presença de elementos fluorescentes na exposição à luz ultravioleta.

EXPERIMENTO LUZ ULTRAVIOLETA:

Materiais:

- Lanterna de luz Ultravioleta.
- Óculos de proteção.

Material de experimentação na bancada:

- 2 Becker de 25ml.
- água tônica.
- água da torneira.
- nota de 2,00.
- protetor solar.
- pincel.



Procedimento:

1. Coloquem os óculos de proteção.
2. Aponte a lanterna para os materiais da bancada e identifique aqueles que mudaram de cor (registre por foto).
3. Com um pincel, cada componente da equipe faça um desenho em um papel branco usando protetor solar. Registre a foto. Em seguida, aponte a lanterna e veja o que aconteceu (registre foto).
4. Em seguida, coloque a lanterna na nota de R\$ 2,00.
5. Observe o Becker com a água tônica.
6. Aponte a câmera do seu celular para o QR code e responda às informações que se pede.

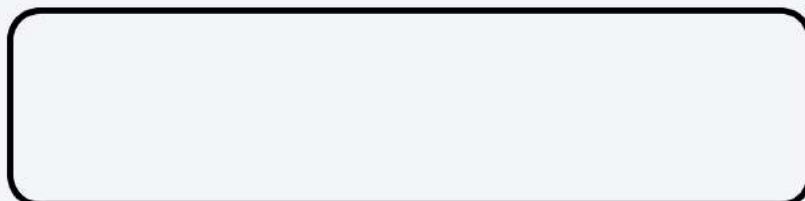


QUESTÕES SOBRE A LUZ ULTRAVIOLETA.

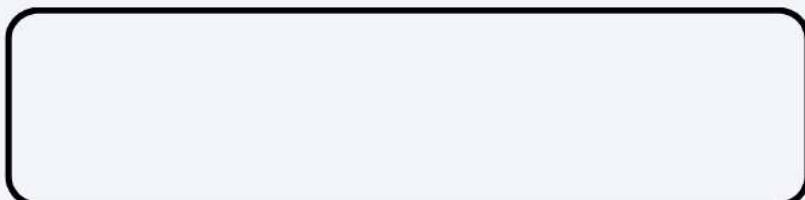


QUESTÕES SOBRE A LUZ ULTRAVIOLETA:

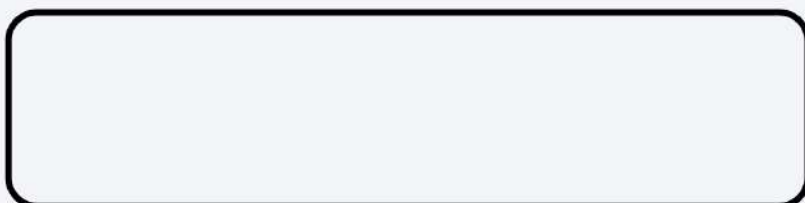
1. Anexo o registro das fotos dos materiais líquidos iluminados pela lanterna de UV.



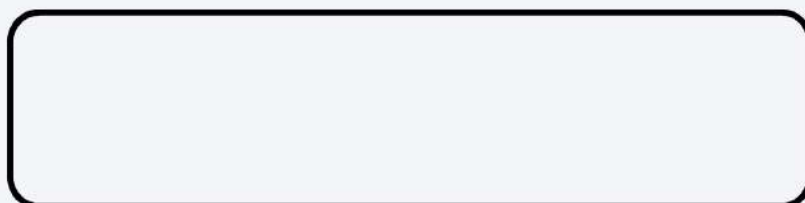
2. Anexo o registro por foto de como as folhas com protetor solar ficaram ao serem iluminadas pela lanterna de UV.



3. A água tônica mudou de cor? Se sim, pesquise na internet e responda: que substância fez a água tônica mudar de cor?



4. Em relação à nota de R\$2,00, houve alguma alteração quando essa foi exposta à luz ultravioleta? Se sim, para que serve essa mudança de cor nas notas?





AULA 2

FÓTONS

- Teoria Corpuscular da luz
- Dualidade Onda-partícula
- Teoria de De Broglie
- Quantização de Max Planck
- Efeito Fotoelétrico de Einstein

● FÓTONS

OBJETIVOS DO 1º TEMPO (50 MINUTOS):

1. Apresentar a teoria corpuscular da luz em seus aspectos históricos.
2. Discutir sobre a dualidade onda-partícula.
3. Apresentar o Efeito fotoelétrico.

ATIVIDADE CAÇADOR DE ELÉTRONS:

OBJETIVOS DO 2º TEMPO (50 MINUTOS):

Construir um circuito de LEDs para identificar o efeito fotoelétrico através do registro da diferença de potencial observada no multímetro.

METODOLOGIA DO 2º TEMPO (50 MINUTOS):

1º Momento: Construir uma placa de LED com LEDs da mesma cor.

2º Momento: acoplar a placa de LED em um ângulo de 45° em relação ao solo.

3º Momento: Rotação por estação.

Com o mesmo grupo da Aula 1, os alunos realizarão as medidas de voltagem de cada placa em diferentes horários do dia.

1º TEMPO (50 MINUTOS):

Leitura Complementar

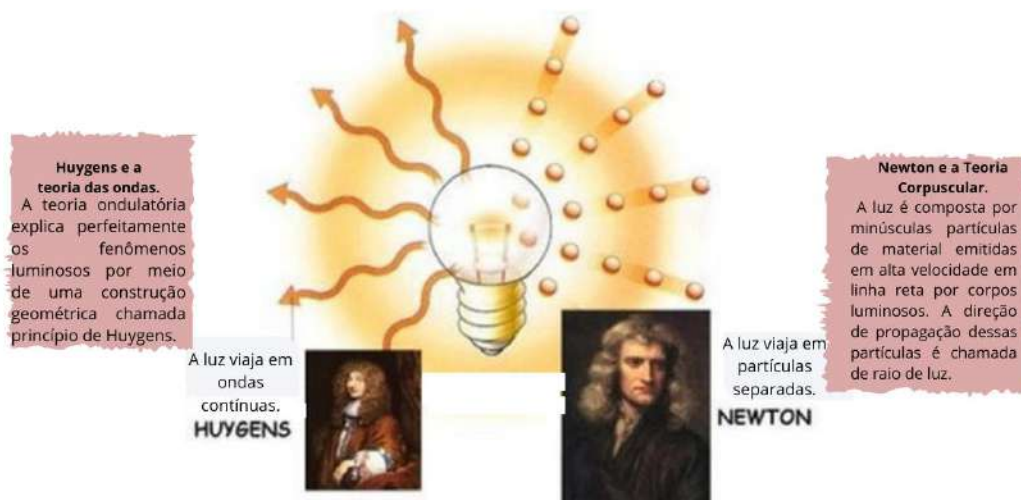
1. Física Moderna: Origens Clássicas e Fundamentos quânticos – Cap. 5
2. Física quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas – Cap. 2

A TEORIA CORPUSCULAR DA LUZ.

X

TEORIA ONDULATÓRIA DA LUZ.

Newton imaginou que a luz era constituída de pequenos corpúsculos. Em 1704, ele afirmou que a luz é composta de um composto que não se propaga mais ao atingir um obstáculo. Esse já considerava que a luz tinha características corpusculares (Bagnato, 2008).



Fonte: "La naturaleza de la luz timeline.", 1678

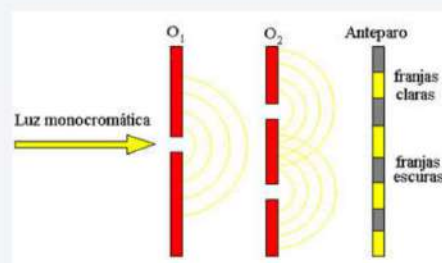
Cristian Huygens, contemporâneo de Newton, postulou entre 1629 e 1695, através de princípios geométricos, a propagação das ondas luminosas com interação entre si. Com isso, ele definiu que as ondas tinham natureza longitudinal e eram responsáveis por fenômenos como a reflexão e a refração da luz (Silva, 2007).

DE BROGLIE E A DUALIDADE ONDA -PARTÍCULA

A teoria de De Broglie, desenvolvida pelo físico francês Louis de Broglie, foi proposta em 1924. Sua proposição fundamental foi a ideia de que partículas, como elétrons, podem exibir comportamento ondulatório, mesmo apresentando características de partícula. Com isso, ele revolucionou o conceito e a compreensão da natureza da matéria e estabeleceu a base para a mecânica quântica.

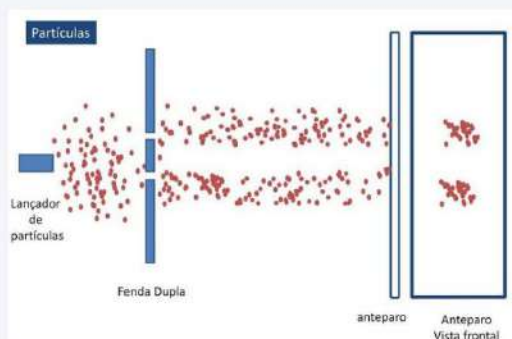
Essa proposta evoluiu significativamente as ideias de Newton sobre a natureza da luz e da matéria. Thomas Young foi quem propôs o experimento da dupla fenda e comprovou a natureza ondulatória da luz em 1801, mais de um século depois das ideias de De Broglie.

Clinton Davisson e Lester Germer, em 1927, realizaram o experimento da dupla fenda com partículas e confirmaram a hipótese de Louis de Broglie de que partículas, como elétrons, exibem comportamento ondulatório, apoiando assim a teoria da dualidade onda-partícula.



Onda

("Dualidade onda-partícula. Características da dualidade onda-partícula", [s.d.]).



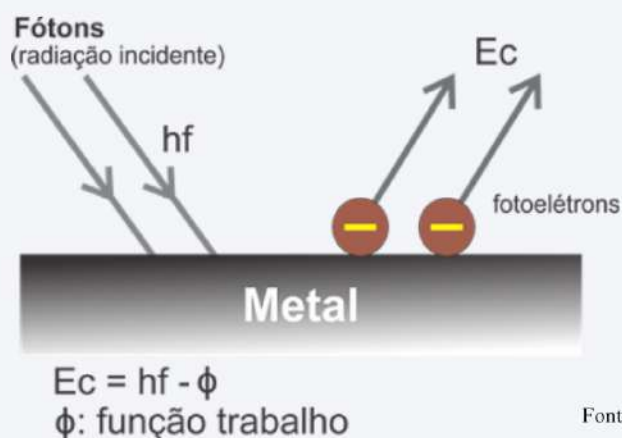
Representação do espectro.

Partícula.

O FÓTON E SUA HISTÓRIA.

Em 1888, Hertz identificou que metais iluminados por luz intensa (radiação) eram capazes de ejetar partículas carregadas negativamente, esse fenômeno foi posteriormente defendido por Einstein como o efeito fotoelétrico (Abdalla, 1954; Eisberg; Resnick, 1994). Porém, foi Max Planck, em 1900, em seus estudos sobre radiação, que concluiu que a radiação da luz poderia assumir pacotes de energia, ou seja, a luz era formada por pacotes de energia, os quais ficaram conhecidos posteriormente como fótons de luz.

O EFEITO FOTOELÉTRICO



Fonte: Nicolau (2014).

Inicialmente, Einstein denominou a partícula de radiação, que era capaz de arrancar elétrons, como pacotes de luz ou quantum de luz. Einstein mostrou que o elétron poderia ser ejetado se cada partícula de luz com frequência (f) fosse composta de quantas de energia individual ($h.f$), onde h seria a constante de Planck. Com a descoberta do efeito fotoelétrico, Einstein recebeu o prêmio Nobel de 1921 (Abdalla, 1954).

A função trabalho se refere à menor quantidade de energia Φ necessária para remover um elétron de um metal, sendo essa uma propriedade intrínseca do próprio metal (Nicolau, 2014).

2º TEMPO (50 MINUTOS):

CAÇADOR DE ELÉTRONS

METODOLOGIA

Nessa atividade, usando a metodologia por estações, na qual os alunos irão em suas equipes participar de atividades envolvendo os elétrons e o efeito fotoelétrico, a fim de destacar a presença de fótons nos ambientes. As rotações serão na estação 1, compreender a existência dos elétrons. Na estação 2, os alunos construirão uma placa para identificar os fótons através da diferença de potencial registrada no multímetro. Na estação 3, os alunos registram pelos 3 momentos em que eles identificaram a diferença de potencial registrada no multímetro através da placa solar construída pela equipe.

ORIENTAÇÕES AO PROFESSOR

Nesta aula, as 4 equipes se concentrarão individualmente em cada estação, sem a necessidade de alternar entre elas, tendo em vista que cada estação depende da outra para auxiliar na construção do conhecimento. O professor deve apresentar uma estação por vez a cada 10 a 15 minutos. Sendo assim, a atividade de caçador de elétrons deve ser realizada em uma aula de 50 minutos.

ESTAÇÕES

ESTAÇÃO 1

Conhecendo os elétrons.

ESTAÇÃO 2

O Efeito Fotoelétrico.

ESTAÇÃO 3

Caçador de elétrons.

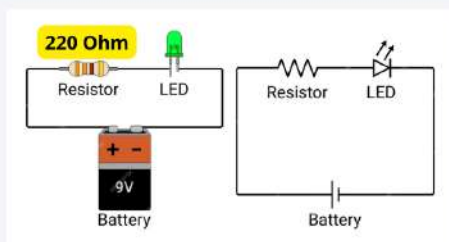
ESTAÇÃO 1

CONHECENDO OS ELÉTRONS

Nesta estação, os alunos aprenderão sobre os elétrons e como eles se movem em um circuito elétrico. Eles podem realizar experimentos simples para visualizar o fluxo de elétrons.

MATERIAIS DISPONIBILIZADOS PARA CADA EQUIPE.

- 1 LED (Diodo Emissor de Luz).
- 1 Resistor de 220 ohms.
- 1 Bateria de 9V.
- 2 Fios de conectores.
- 1 Conector de bateria de 9V.
- Obs.: Cada equipe receberá uma cor de LED de forma aleatória. A cor do LED determinará a cor da equipe.



ORIENTAÇÕES:

Aponte a câmera para o QR Code, abra o formulário e execute o processo fazendo o que se pede. Registre o processo em fotos.



PROCEDIMENTO:

1. Conecte um lado do resistor a um dos terminais da bateria usando um fio de conexão, fixe com um pouco de solda.
2. Conecte o outro lado do resistor ao terminal mais longo (ânodo) do LED. O terminal mais longo do LED é geralmente o positivo, prenda-o através de um pedaço de fita isolante.
3. Conecte o terminal mais curto (cátodo) do LED ao outro terminal da bateria usando o segundo fio de conexão, prenda através de um pedaço de fita isolante.
4. Quando você completar o circuito, o LED deve acender.
5. Inverta os fios conectores do LED e verifique se o circuito acende a luz.

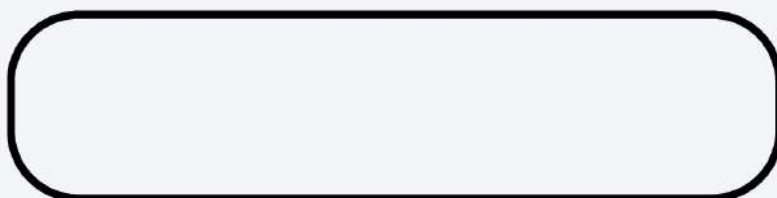
ESTAÇÃO 1 – CONHECENDO OS ELÉTRONS – AULA 2

Aponte a câmera para o QR Code, abra o formulário e execute o processo fazendo o que se pede. Registre o processo em fotos.



FORMULÁRIO ESTAÇÃO 1 - AULA 2

1. Anexe fotos do procedimento.



2. Qual foi a cor do LED? Essa cor será a cor da equipe a partir de agora.



3. O que aconteceu ao ligar os polos do LED invertido.



Vamos à próxima atividade!!!

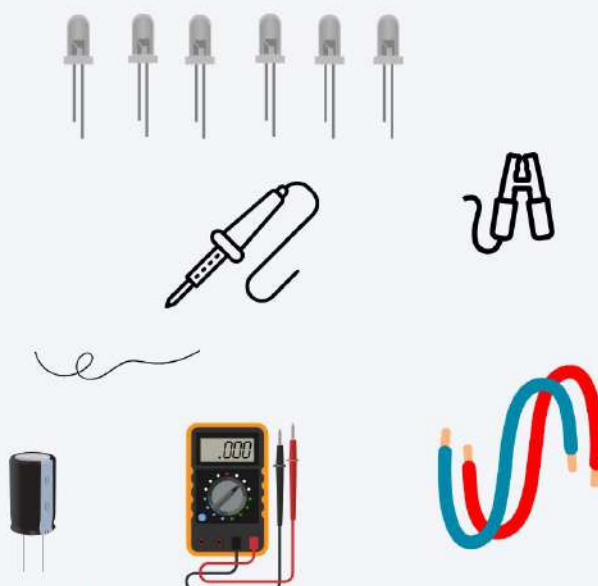
ESTAÇÃO 2

O EFEITO FOTOELÉTRICO

Nesta estação, os alunos receberão um KIT PLACA SOLAR para construir uma placa solar simples usando LEDs de uma única cor. Eles irão conectar os LEDs em forma de circuito, em que os LEDs irão ser colocados no papelão e conectados com uma ligação paralela, seguindo a orientação que está representada no pedaço de papelão. Também será colocado um capacitor em paralelo, para que armazene a corrente e forneça valores mais estáveis ao multímetro. Os terminais positivos e negativos serão ligados a um multímetro para verificar a diferença de potencial entre os polos quando essa placa.

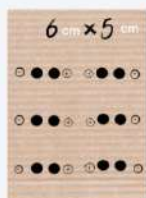
KIT PLACA SOLAR

- 1 pedaço de papelão 6 cm X 5cm com as marcações.
- 6 LEDs da cor da equipe.
- 1 par de 30 cm de fios de cobre.
- 1 Ferro de solda.
- Fio de Estanho.
- 1 capacitor de 10 μ F e 50V.
- 1 Multímetro.
- Conectores Jacaré.



PROCEDIMENTO:

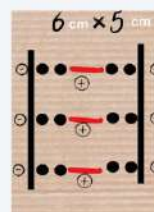
1. Abra o kit e siga as instruções. Não esqueça de registrar por fotos os procedimentos.



2. Identifique as polaridades do LED, em que a perna maior é o positivo e a menor é o negativo.

3. Coloque as pernas dos LEDs no papelão nas indicações. Como mostra a figura.

4. Dobre as pernas dos LEDs, os positivos na direção do centro do papelão na horizontal, como está em vermelho no esquema ao lado, e os negativos na direção vertical, como está na linha de cor preta do esquema ao lado.



5. Junte as pernas dos LEDs com solda, usando o ferro de solda e o fio de estanho. Peça ajuda ao professor(a) se precisar.

6. Pegue o fio vermelho, retire o plástico de uma pequena parte do fio em uma das pontas e solde perpendicularmente nas três linhas de conexão horizontais das pernas positivas.



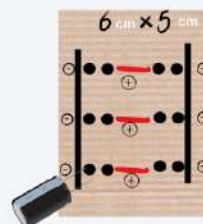
7. Pegue o fio preto, retire o plástico de uma pequena parte da ponta do fio, retire também uma pequena parte do plástico de 5cm da ponta do fio. Solde perpendicular à ponta em um polo negativo e a parte 5cm de distância do ponto no outro polo negativo.



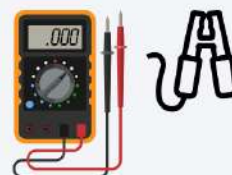
8. Identifique os polos do capacitor.

9. Conecte o capacitor em paralelo com as pernas soldadas em seus respectivos polos.

10. Com um conector garra jacaré, conecte os fios dos polos em um multímetro para o teste. Posicione na função Voltímetro de até 10V.



11. Exponha a placa ao sol e verifique se o multímetro registra diferença de potencial.



12. Aponte a câmera para o QR code e anexe as fotos do procedimento. Responda às questões no formulário.

Com esse fenômeno, está comprovado que os fótons do sol conseguem arrancar elétrons da substância interna do LED.


ESTAÇÃO 2 – O EFEITO FOTOELÉTRICO – AULA 2

Aponte a câmera para o QR code e anexe as fotos do procedimento. Responda às questões.



FORMULÁRIO ESTAÇÃO 2 – Aula 2.

1. Anexe pelo menos 3 fotos do procedimento.



2. Foi possível identificar DDP após o procedimento? Se não, o que aconteceu para não ter ocorrido a DDP?



ESTAÇÃO 3

CAÇADORES DE FÓTONS

Esta estação será uma atividade a ser desenvolvida no decorrer da semana. Os alunos terão que caçar fótons em um horário e dia determinados pelo professor. Nesse, eles verificaram a DDP da placa no jardim na frente da direção nos horários de 9h, 12h e 15h. Após registrar os valores, devem enviar pelo formulário que está no QR code da sala de aula deles.

MATERIAL:

Placa solar caseira produzida na aula experimental.

Procedimento:

1. Direcione a placa para o sol em um ângulo de aproximadamente 45° do solo e registre a tensão nos seguintes horários: 9h, 12h, 15h.
2. Registre por foto as medidas.
3. Leia o QR code que está fixo na porta da sala e registre suas respostas.



FORMULÁRIO ESTAÇÃO 3 – Aula 2.

Leia o QR code que está fixo na porta da sala e registre suas respostas.



FORMULÁRIO ESTAÇÃO 3 – Aula 2.

1. Qual foi a data da verificação?

2. Descreva o tempo: Com nuvem, sem nuvem?

3. Escreva a tensão gerada às 9h. Faça três medições e registre a média.

4. Escreva a tensão gerada às 12h. Faça três medições e registre a média.



AULA 3

SALTO QUÂNTICO

- Compreender como a matéria é capaz de emitir fótons
- Analisar o salto quântico com base no modelo atômico de Bohr
- Observar a emissão de luz estimulada no teste da chama



OBJETIVOS DO 1º TEMPO (50 MINUTOS):

1. Apresentar os modelos atômicos de Dalton a Bohr.
2. Discutir sobre o átomo de Bohr.
3. Compreender as camadas do átomo de Bohr por meio da distribuição eletrônica e da emissão estimulada de fótons.
4. Relacionar a cor emitida pelo sal na transição eletrônica por meio da espectrografia dos sais.

ATIVIDADE SALTO QUÂNTICO.

OBJETIVOS DO 2º TEMPO (50 MINUTOS):

Verificar experimentalmente a emissão estimulada através da transição eletrônica presente na espectrografia dos sais de materiais químicos.

METODOLOGIA DO 2º TEMPO (50 MINUTOS):

- 1º Momento: Preparação dos materiais para a realização da espectrografia dos sais.
- 2º Momento: Observação da cor emitida ao estimular as substâncias químicas com calor.
- 3º Momento: Anotação dos dados.
- 4º Momento: Discussão dos dados.

A MATÉRIA.

Leitura Complementar

1. Física Moderna: Origens Clássicas e Fundamentos quânticos - Cap. 1-2.

2. Física quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas - Cap. 4

Na Grécia Antiga, alguns filósofos acreditavam que os elementos fundamentais que compunham o Universo eram os 4 elementos: água, terra, ar e fogo.



Água

Fogo

Terra

Ar

Fonte: História do átomo | Átomo", [s.d.]

Demócrito

alunos de
400 a.c

Leucipo

Teoria atômica

Demócrito, aluno do filósofo grego Leucipo de Mileto, é notável por sua contribuição significativa na estruturação do pensamento em torno da “Teoria Atômica”, na qual define que a matéria era formada por pequenas partículas indivisíveis.

Porém, essas ideias contrastavam com a de Platão e Aristóteles, que acreditavam na matéria contínua. O modelo de matéria contínua deles foi adotado pela Igreja Católica durante a Idade Média e permaneceu até cerca de 1650 d.C.

MODELOS ATÔMICOS

DALTON

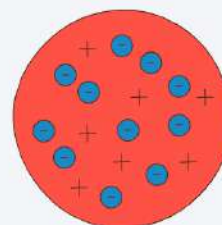
John Dalton apresentou a primeira teoria atômica científica em 1808, a qual postulou que a matéria ordinária é composta de partículas elementares, chamadas átomos, que são permanentes e indivisíveis.



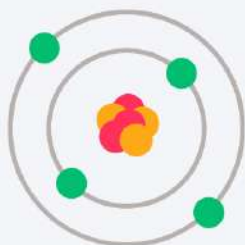
Para Dalton, os elementos da natureza são feitos de tipos específicos de átomos, caracterizados pela sua massa e propriedades químicas. Nesta teoria, ao se combinarem, os átomos não se alteram, como **BOLAS DE BILHAR** uma ao lado da outra (Novaes; Studart, 2016).

THOMSON

Thomson realizou uma experiência para a detecção do elétron como uma partícula subatômica em 1897. Thomson propôs um modelo denominado pudim de passas, onde ele imaginou que os átomos eram compostos por elétrons espalhados uniformemente em uma “sopa” de carga positiva, que formaria o interior do átomo (Novaes; Studart, 2016).



RUTHERFORD



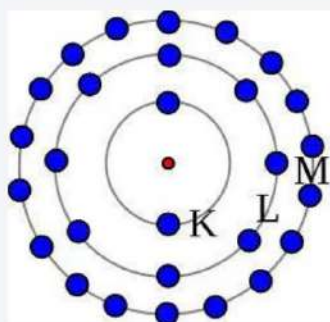
Em 1911, Ernest Rutherford realizou um experimento que entrou em contraste com as ideias de Thomson. Rutherford realizou um experimento com espalhamento de partículas alfa (que são núcleos de hélio, cada um com dois prótons e dois nêutrons) bombardeando uma lâmina de ouro (cada átomo de ouro com 79 prótons e 118 nêutrons). Ele percebeu que o átomo é praticamente um espaço vazio, com a maior parte de sua massa concentrada na região central, o núcleo, e com os elétrons orbitando ao redor dele (Novaes; Studart, 2016).

BOHR

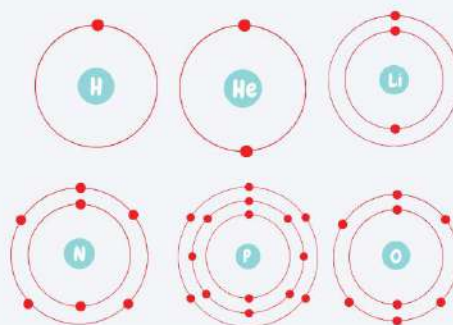
Com base nas equações de Maxwell, uma partícula acelerada emitiria energia. Então, no modelo de Rutherford, teria um elétron orbitando ao redor do núcleo devido a uma aceleração centrípeta, o que ocasionaria o colapso do elétron. Para solucionar o problema, em 1913, Bohr aperfeiçoou o modelo de Rutherford (Novaes; Studart, 2016).

POSTULADOS DE BOHR:

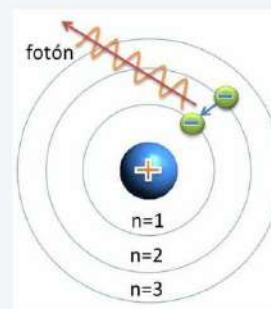
1. Na eletrosfera, os elétrons descrevem trajetórias circulares ao redor do núcleo, nas chamadas camadas ou níveis de energia; cada nível de energia possui uma energia bem definida, que depende somente do tipo de átomo; nessas camadas, os elétrons não perdem energia (Novaes; Studart, 2016).



K = 2
L = 8
M = 18
N = 32
O = 32
P = 18
Q = 8



2. De acordo com Bohr, quando os átomos são expostos a uma chama, o calor excita os elétrons, fazendo com que eles subam para níveis de energia mais altos. Ao retornarem ao seu estado fundamental ou nível inicial, esses elétrons liberam energia na forma de luz, este quantum de energia tem a energia $E = h\nu$; A cor dessa luz está associada aos átomos de cada elemento (Novaes; Studart, 2016).



3. O momento angular do elétron ao redor do núcleo é quantizado ($L = nh$) (Novaes; Studart, 2016).

ABSORÇÃO E EMISSÃO



1. Absorção espontânea: O elétron, ao receber um fóton, salta para o próximo estado quântico.
2. Emissão Espontânea: O elétron, ao retornar para seu estado quântico fundamental, libera o fóton que absorveu.
3. Emissão estimulada: Na emissão estimulada, o elétron absorve um fóton para realizar o salto quântico e emite 2 fótons para retornar ao nível quântico fundamental.

A COR NA EMISSÃO DE FÓTONS ESTIMULADOS.

A cor emitida por um átomo é determinada pela frequência específica da onda eletromagnética que ele emite. Nos fogos de artifício, são utilizadas substâncias específicas que, ao serem aquecidas, experimentam saltos quânticos. Esses saltos resultam na liberação de energia na forma de luz colorida. Assim, diferentes substâncias produzem cores distintas, criando o espetáculo visual característico dos fogos de artifício.



2º TEMPO (50 MINUTOS):

ESPECTROSCOPIA VIVA: O ENIGMA DAS CHAMAS COLORIDAS

METODOLOGIA:

Esta atividade é uma demonstração prática para explicar os conceitos fundamentais da física atômica. Com base em nossos estudos sobre o modelo atômico de Bohr, perceberemos nessa prática a emissão estimulada, que é essencial para compreender o funcionamento dos LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation).

No teste da chama, os elétrons dos átomos da amostra são excitados ao serem aquecidos pela chama. Isso significa que os elétrons absorvem energia e saltam para níveis de energia mais altos e, ao retornarem, emitem luz. Assim sendo, faremos o “enigma dos sais” com base na espectroscopia da cor liberada por esses sais ao serem aquecidos.

ORIENTAÇÕES AO PROFESSOR

Nesta aula, as 4 equipes receberão equipamentos de proteção, tais como óculos de proteção para todos os alunos, luvas e jalecos para os que irão manusear os sais. Orienta-se que todos os alunos estejam de calça e tênis. Como o objetivo é identificar o elemento químico presente no sal que emite luz ao ser estimulado quando ativado pelo calor, cada estação está equipada com 1 sal dentro de um Becker. Em cada estação numerada de 1 a 4, na qual cada equipe colocará um pouco de sal em um cadinho, algumas gotas de álcool e ativará o sal através do calor com um isqueiro de bico longo, ao ativar o sal, os alunos identificarão a cor e preencherão uma tabela com a cor observada.

Na realização da atividade, os alunos observarão diferentes cores, com os sais: Cloreto de Sódio (NaCl), Cloreto de Bário (BaCl_2), Sulfato de Cobre II (CuSO_4) e Bicarbonato de Sódio (NaHCO_3).



Testes de chama - Banco de Imagens da Casa das Ciências", [s.d.]

Projete em slíde e/ou imprima essa página colorida para que os alunos possam efetuar a atividade da Estação 5

ESPECTROSCOPIA DOS SAIS

A tabela mostra a relação de sais associados às suas cores de emissão de luz. Use essa tabela para trabalhar na estação 5. A seguir estão os sais e as estações em que eles estarão, sem identificação, para que os alunos possam realizar o procedimento.

Amostras	Coloração
Bicarbonato de Sódio (NaHCO_3)	Laranja
Cloreto de Bário (BaCl_2)	Vermelho claro
Sulfato de CobreII (CuSO_4)	Verde
Cloreto de Sódio (NaCl)	Amarela

(MACIEL; LEITE, 2019)

Estação 1

1. Cloreto de Sódio (NaCl)

Estação 2

2. Cloreto de Bário (BaCl)

Estação 5

Construção coletiva da tabela de cores emitidas pelos sais.

Estação 3

3. Sulfato de CobreII (CuSO_4)

Estação 4

4. Bicarbonato de Sódio (NaHCO_3)

Os grupos realizam a verificação e, cada estação e montam a tabela seguindo a seguinte sequência

Grupo 1

- Estação 1
- Estação 2
- Estação 3
- Estação 4

Grupo 2

- Estação 2
- Estação 3
- Estação 4
- Estação 1

Grupo 3

- Estação 3
- Estação 4
- Estação 1
- Estação 2

Grupo 4

- Estação 4
- Estação 1
- Estação 2
- Estação 3

Estação 5



Atividade coletiva

Imprima essa página para cada equipe.

EXPERIMENTO TESTE DA CHAMA

MATERIAIS

- Equipamento de proteção:
- Óculos de proteção.
- Luvas.
- Máscaras.
- 1 Jaleco por equipe.
- 16 almofarizes (4 para cada estação).
- Álcool 70° em um recipiente de conta-gotas.
- Isqueiro de bico longo.
- Becker com sais.
- Espátula.



Observação:

Os sais estão dispostos na bancada em cada estação dentro de um Becker numerados de 1 a 4 de acordo com a estação.

PROCEDIMENTOS PARA AS ESTAÇÕES DE 1 A 4:

1. Registre em fotos o procedimento.
2. Coloquem os óculos de proteção, luvas e máscaras.
3. O componente da equipe que for manusear o sal do experimento coloca o jaleco.
4. O componente da equipe com o Jaleco coloca uma colherinha de sal no almofariz vazio que está na estação.
5. Coloque três gotas de álcool e acenda com o isqueiro de bico longo.
6. Observe a cor e registre na tabela da questão 1.
7. Ao final, lave o almofariz e seque com papel toalha para deixá-lo limpo para cada próxima equipe.

Imprima essa página para cada equipe.

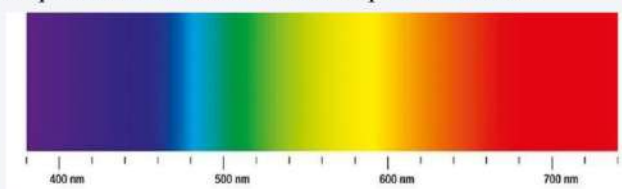
FORMULÁRIO DE REGISTRO.

Efetue o procedimento e registre as cores encontradas.

1. Classifique a cor com base na referência: Amarelo, Vermelho, Verde ou Laranja.

	Cor		Cor
1		3	
2		4	

2. Observe o espectro visível e associe o comprimento à cor.



λ	Cor	λ	Cor

3. Associe o sal ao comprimento de onda. A identificação da cor estará associada à tabela de cores que será fornecida em sala de aula.

	λ		λ
1		3	
2		4	



AULA 4

FÍSICA DOS MATERIAIS E O FUNCIONAMENTO DO LED (DIODO EMISSOR DE LUZ)

- Conhecer um pouco da eletrônica
- Classificar os materiais
- Compreender o que é um semicondutor
- Identificar de que são feitos os LEDs



● SEMICONDUTORES.

OBJETIVOS DO 1º TEMPO (80 MINUTOS):

1. Identificar do que é constituído o LED.
2. Compreender a teoria das bandas de condução e de valência e a energia de *gap*.
3. Compreender o que são semicondutores dopados.
4. Compreender como acontece a emissão de luz em um LED.

● ATIVIDADE EXPLORANDO AS CORES: DESCOBRINDO OS SEGREDOS DOS LEDS.

OBJETIVOS DO 2º TEMPO (50 MINUTOS):

Construir um circuito de LEDs com uma placa de protoboard para identificar a cor dos LEDs e identificar na tabela o composto químico de que é feito o LED.

METODOLOGIA DO 2º TEMPO (50 MINUTOS):

- 1º Momento: Montar o circuito com placas de protoboard em equipes.
- 2º Momento: acoplar a placa de LED.
- 3º Momento: identificar a cor e classificar o seu material com base em uma tabela.

1º MOMENTO: (80 MINUTOS):**HISTÓRIA DA ELETRÔNICA.****Leitura Complementar**

**1. Ciências e Engenharia de Materiais:
Uma introdução – Cap. 18.**

**2. Materiais e dispositivos eletrônicos
– Cap. 6 e Cap.8.**

A eletrônica é um dos ramos da tecnologia que surgiu em 1906 com a invenção de Lee Forest, nos Estados Unidos. Ele criou uma válvula denominada de tríodo, que era constituída de três eletrodos: o cátodo, que aquecido emitia elétrons, o ânodo que recebia os elétrons e outro denominado grade, que controlava o fluxo e possibilitaria a amplificação do sinal. Outra válvula, também criada nesse período, foi o diodo, apenas com um cátodo e um ânodo.



O principal produto da eletrônica criado na primeira metade do século XX foi o rádio, que possibilitou a comunicação e auxiliou na difusão de informações através da transmissão de voz e música. Depois da difusão do rádio, veio a transmissão à distância da imagem em movimento através da televisão. Posteriormente, surgiram os computadores e uma grande variedade de equipamentos.

Todos esses equipamentos eram formados pelas *válvulas eletrônicas*: dispositivos que permitiam corrente elétrica controlada, fluindo apenas em um sentido, ou apenas em certas voltagens. Contudo as válvulas tinham delimitações, pois eram grandes, frágeis, aqueciam muito, tinham vida curta e fabricação dispendiosa. Com isso, os cientistas procuraram dispositivos que pudessem substituir as válvulas. Em 1947, três físicos dos laboratórios da Bell Telephone, J. Bardee, W. Brattain e W. Shockley estudou as propriedades eletrônicas em semicondutores e descobriu os transistores.

Os transistores são dispositivos com três elementos que possibilitam o controle da corrente elétrica no interior de um material semicondutor. Esses eram capazes de substituir as válvulas tríodos. Passaram por aperfeiçoamento na década de 1950, que os tornaram um dispositivo mais confiável com aplicações nos mais diversos equipamentos e baixos custos de fabricação. A partir da década de 1960, houve a miniaturização da eletrônica e o desenvolvimento dos circuitos integrados. Esses circuitos integrados seriam formados por inúmeros transistores e diodos interligados com resistores e capacitores fabricados na mesma partilha de um semicondutor.



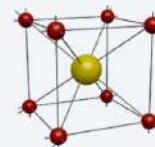
A criação desses diodos e transistores minúsculos gerou a criação de circuitos da ordem de 10^{-6} m, dando origem à tecnologia da microeletrônica, surgindo assim os microprocessadores que auxiliaram a criação dos microcomputadores. Estas evoluções provocaram uma enorme mudança nos costumes da sociedade, proporcionando modernos sistemas de comunicação.



Estas pesquisas só foram possíveis graças às pesquisas da Física do Estado Sólido, área da Física que investiga propriedades e fenômenos que ocorrem em materiais sólidos e ganhou grande impulso com a criação dos transistores. As progressões desses estudos aumentaram as técnicas de investigação que se estenderam a materiais mais complexos como vidros, polímeros e até mesmo líquidos. Esses novos estudos passaram a ser denominados de Física da Matéria Condensada.

DISPOSITIVOS ELETRÔNICOS

Materiais usados na fabricação de dispositivos eletrônicos têm estrutura de sólidos cristalinos. Nelas, os átomos ou íons estão ordenados, a fim de minimizar a energia eletrostática total do conjunto. Por essa razão, quando o material é fundido e depois resfriado lentamente, os átomos e íons procuram posições de menor energia e tendem a formar cristais.



Dessa forma, a organização atômica resulta em propriedades específicas que são essenciais para o funcionamento eficiente dos dispositivos eletrônicos. Por exemplo, semicondutores como o silício possuem uma estrutura cristalina que permite o controle preciso do fluxo de elétrons, fundamental para a operação de transistores e circuitos integrados.

Enquanto os livros de engenharia classificavam os materiais quanto às suas propriedades mecânicas, os físicos, estudiosos da matéria condensada, preferem classificá-las quanto à sua microestrutura, tais como monocristais, cerâmicas e vidros, polímeros, cristais líquidos, filmes finos e multicamadas, para depois observarem os fenômenos que ocorrem em semicondutores, materiais ópticos, materiais magnéticos dielétricos e supercondutores.

Como nosso objetivo é explicar o funcionamento do LED (diodo emissor de luz), buscaremos explicar as propriedades ópticas dos materiais no LED, que é um dispositivo optoeletrônico.



PROPRIEDADES ÓPTICAS DOS MATERIAIS

A propriedade óptica dos materiais está relacionada à resposta desses à exposição de uma radiação externa. Quando um material recebe radiação externa, ele reage emitindo, absorvendo, refletindo ou alterando a polarização da luz. Os estudos da interação entre matéria e luz ganharam impulso com as experiências de Newton, o qual utilizou um prisma de vidro, e destacou que a luz sofria desvio entre a cor vermelha e violeta (Rezende, 2015). Hoje compreendemos que essa faixa de luz varia entre o comprimento de onda do violeta em torno de 400nm e o vermelho com comprimento de onda de 700nm.



Convertendo os comprimentos de onda do intervalo visível da luz para frequências f e, finalmente, para energias $E = hf$, vemos este intervalo corresponde a fótons com energia entre 1,7 - 3,1 eV. Esses valores são similares à **ENERGIA DE GAP** dos semicondutores e às transições eletrônicas em diversos átomos. Com base nessas descobertas, foi possível desenvolver a **OPTOELETRÔNICA** (estudo da interação entre luz e eletrônica), o que tornou possível o desenvolvimento de diversos dispositivos que conseguem converter luz em corrente elétrica e vice-versa.

MAS O QUE É ENERGIA DE GAP?

A energia de gap está associada à compreensão dos mecanismos responsáveis pela passagem da corrente elétrica em um material. Pelos estudos da matéria, sabemos que um átomo possui níveis de energia discretos e quantizados, correspondendo aos orbitais atômicos $1s^2$, $2s^2$, $2p^6$, $3s^2$, $3p^6$, $3d^{10}$, etc. As energias desses orbitais obedecem ao Princípio de Exclusão de Pauli. Um átomo isolado apresenta elétrons com energias quantizadas, uma em cada orbital. Porém, ao interagir com outros átomos, seus estados eletrônicos apresentam variação de energia com as distâncias interatômicas e formam **faixas (ou bandas) de energia**.

O cálculo quântico dos estados eletrônicos e das energias dos sólidos pode ser feito por aproximação, supondo que os núcleos dos átomos são fixos e com posições conhecidas na rede cristalina. Com isso, o potencial periódico ao qual o elétron está submetido leva a uma equação de Schrödinger, cujas energias formam bandas, assim os estados eletrônicos de um átomo são definidos a partir de sua banda de energia. Dentro de cada banda de energia, a energia do elétron não é mais quantizada como no átomo - ela passa a ser novamente contínua, como se o elétron estivesse livre novamente.

camada

K	$1 s^2$
L	$2 s^2 \quad 2 p^6$
M	$3 s^2 \quad 3 p^6 \quad 3 d^{10}$
N	$4 s^2 \quad 4 p^6 \quad 4 d^{10} \quad 4 f^{14}$
O	$5 s^2 \quad 5 p^6 \quad 5 d^{10} \quad 5 f^{14}$
P	$6 s^2 \quad 6 p^6 \quad 6 d^{10}$
Q	$7 s^2 \quad 7 p^6$

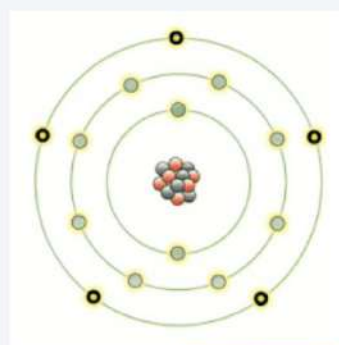
BANDAS DE ENERGIA

As bandas podem ser classificadas como bandas de valência ou bandas de condução. O conceito de bandas é essencial para a compreensão da condutividade elétrica dos materiais.

BANDAS DE VALÊNCIA

O número atômico do átomo, o que é o número de prótons em um elemento químico, o diferencia de qualquer outro elemento.

Pela distribuição eletrônica de Bohr, o elétron do átomo pode ocupar estados discretos de energias, ou seja, pode ocupar órbitas estacionárias ao redor do núcleo do átomo. Cada órbita corresponde a um nível de energia. Ao realizar a distribuição eletrônica obedecendo ao princípio de Exclusão de Pauli, os elétrons na última camada são classificados como elétrons na camada de valência. Os elétrons nesta banda estão ligados aos seus átomos de origem. A banda de valência de um sólido surge da interação entre as camadas de valência dos átomos que o compõem.



("ELECTRONES DE VALENCIA", p.43)

BANDAS DE CONDUÇÃO

É a banda de energia mais baixa onde os elétrons não estão fortemente ligados aos núcleos atômicos e são livres para se movimentar pelo material. É uma faixa de estados eletrônicos possivelmente vazios. Os estados de valência dos átomos de um sólido, ao interagirem um com o outro, produzem uma banda de valência, mas também uma de condução, de energia mais alta, onde os elétrons conseguem se desprender do núcleo e se movimentar ao longo do sólido.

O "nível de Fermi" determina a última energia preenchida nessas bandas pelos elétrons do sólido. Já o *gap* de energia representa a diferença de energia entre as bandas de valência e condução.

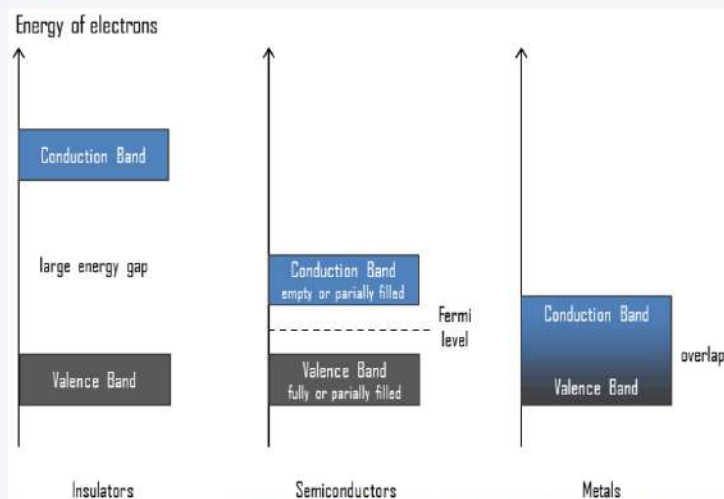
Q

Nível de Fermi

×

É a energia máxima que um elétron de um material pode ter no zero absoluto ($T = 0K$). É essencial para entender o comportamento dos materiais e suas propriedades elétricas e térmicas.

ISOLANTES, SEMICONDUTORES E CONDUTORES.



("O que é banda de condução e valência em semicondutores - Definição", 2020)

Isolantes

São materiais que não conduzem corrente elétrica, pois sua última banda está completamente cheia, enquanto a banda de condução está completamente vazia. Neles, a energia de *gap* é alta - a banda de condução dos isolantes é bem distante da banda de valência.

Semicondutores

Os semicondutores são caracterizados por possuírem uma banda de valência cheia e uma banda de condução vazia a uma temperatura de $T = 0K$, ou seja, o seu *gap* de energia se aproxima do nível de Fermi e são relativamente pequenos $E_g < 2$ ou 3 eV. Devido ao baixo valor de *gap*, os semicondutores tornaram-se mais apreciáveis, pois sua condutividade depende exponencialmente da temperatura.

Condutores

Também chamados de metais, são os que têm a camada de valência quase cheia. Quando aquecidos, os elétrons passam da banda de valência para a banda de condução, deixando buracos na banda de valência. Com isso, a energia de *gap* entre a camada de valência e condução em condutores se confunde, pois os buracos na camada de valência e os elétrons na camada de condução produzem corrente elétrica sob a ação de uma corrente elétrica.

SEMICONDUCTORES

São materiais que conduzem corrente elétrica quando submetidos a uma variação de temperatura. Esses podem ser encontrados na natureza como puros ou com impurezas. Assim, os puros são classificados como intrínsecos e os que possuem impurezas são classificados como extrínsecos. Quando um elétron passa da banda de valência para a banda de condução, esse deixa um buraco no material que serve de lacuna, se comportando como uma carga positiva (p), e o elétron que passou para a outra banda é o elétron livre que se comporta com uma carga negativa (n). Essa recombinação é denominada de pares Elétron-Buraco.

SEMICONDUCTORES INTERÍNSECOS

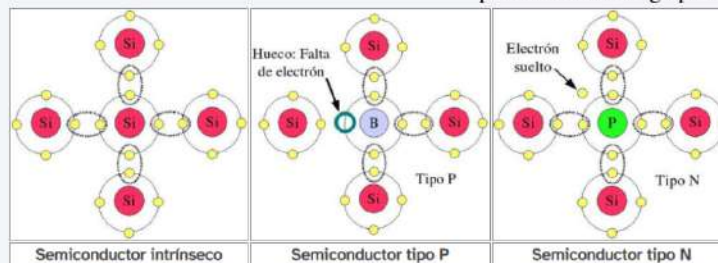
São materiais semicondutores encontrados na natureza sem nenhuma impureza. Com isso, a condutibilidade do material é determinada por sua estrutura e pela temperatura à qual esse foi submetido. O número de elétrons excitados e o número de buracos são iguais ($n = p$), ou seja, a passagem de um elétron da banda de condução para a banda de valência em um semicondutor intrínseco sempre criará um buraco na banda de valência. Os mais encontrados na natureza são o silício (Si) e o germânio (Ge).

SEMICONDUCTORES EXTRÍNSECOS.

Também chamados de semicondutores dopados. Esses são semicondutores que são adicionados de impurezas para aumentar a condutividade elétrica do material, ou seja, a adição de impurezas cria portadores de cargas adicionais, criando elétrons ou lacunas. Podem ser classificados como tipo p ou tipo n.

Semicondutores Tipo-N: São aqueles que recebem adição de impurezas, como o fósforo. Essas impurezas possuem *mais elétrons* na banda de valência do que o material semicondutor, gerando elétrons adicionais na banda de condução, capazes de transportar corrente como portadores de carga negativa.

Semicondutores do Tipo p: Neste, os átomos de impurezas, como o boro, são inseridos no material semicondutor. Essas impurezas possuem *menos elétrons* de valência em comparação com o material do semicondutor, o que gera a formação de buracos ou lacunas (falta de elétrons) na banda de valência. Essas lacunas podem conduzir corrente elétrica como portadores de carga positiva.



("3.2. Semiconductores. Unión P-N. Diodos | Electrónica analógica 4o E.S.O.", [s.d.])

SEMICONDUCTORES COMPOSTOS

São semicondutores formados por elementos dos grupos II, III, IV e V. A exemplo temos o Arseneto de Gálio (GaAs), que é dos grupos III e V, respectivamente. Nesse exemplo, os átomos de arseneto doam um elétron para o átomo de gálio, ficando ambos com 4 elétrons na banda de valência. As propriedades do GaAs conservam a energia e o momento com uma energia de gap de 1,43 eV.

Há vários outros semicondutores formados por semicondutores III-V como InSb ($E_g=0,18$ eV), InP (1,35 eV) e GaP (2,26 eV). Também há semicondutores compostos II-IV, como CdS (2,42 eV), PbS (0,35 eV), PbTe (0,30 eV) e CdTe (1,45 eV), entre outros.

DISPOSITIVOS SEMICONDUCTORES

É dada a largada para o manuseio dos dispositivos confeccionados com semicondutores; dentre eles, daremos destaque aos **OPTOELETRÔNICOS**, ou seja, àqueles que apresentam resposta à radiação externa, emitindo, absorvendo, refletindo ou alterando a polaridade da luz. Esses dispositivos são capazes de correlacionar luz e corrente elétrica para a emissão de comunicações ópticas - essa é a área da Fotônica-, e essas propriedades estão relacionadas à natureza quântica do elétron que influencia a emissão de luz pela matéria. Diversos dispositivos já foram desenvolvidos, tais como os Fotodetectores: Foto-resistor, Fotodiodos, Células solares e Sensor de Imagem CCD, diodos emissores de LUZ (LED) e Amplificação da luz por emissão estimulada de radiação (LASER).



Fotodiodo



Célula solar



Foto-resistor



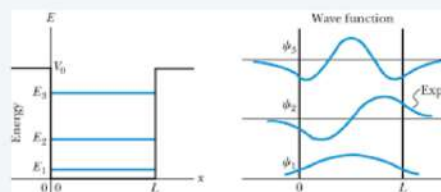
LED



LASER

A MATÉRIA E A EMISSÃO DE LUZ

No modelo clássico, o elétron pode realizar transições entre quaisquer valores de energia para a emissão de luz. Contudo, na mecânica quântica, o elétron só pode ter estados discretos de energia. Uma forma de se controlar isso é colocar o elétron em um **POÇO DE POTENCIAL** - o caráter ondulatório desse elétron é enfatizado se o poço tiver dimensões nanométricas. Com isso, ele será obrigado a ocupar estados estacionários do poço. Transições entre as energias desses estados é que produzem as frequências de luz características dentro do espectro eletromagnético para este sistema.



(SCHRÖDINGER, 1927)



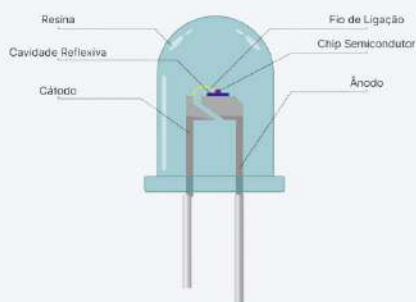
POÇO DE POTENCIAL



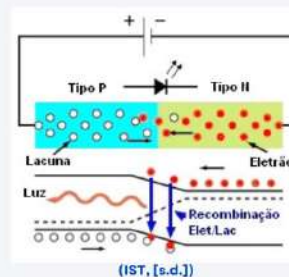
No poço de potencial, um elétron é confinado a uma região limitada onde a energia potencial é zero dentro do poço e alta fora dele. Quando um elétron confinado nesse poço absorve energia suficiente, pode saltar para níveis de energia superiores. Ao retornar para seu estado fundamental, o elétron pode emitir luz, cuja frequência está relacionada à diferença de energia entre os níveis.

LED (Diodo Emissor de LUZ)

Os LEDs, ou Diodos Emissores de Luz, são dispositivos semicondutores que convertem energia elétrica diretamente em luz. Ao contrário das lâmpadas incandescentes, que geram luz através do aquecimento de um filamento metálico, os LEDs funcionam através de um fenômeno chamado “fotoluminescência”. Este processo ocorre dentro de um material semicondutor específico presente no LED, que, ao ser atravessado por uma corrente elétrica, faz com que os elétrons se recombinem com lacunas (ou buracos) dentro do material. Quando isso acontece, energia é liberada na forma de fótons, até mesmo no espectro de luz visível.

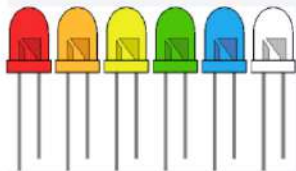


(HUCKEBER, 2024)



A recombinação é o processo fundamental que ocorre dentro do material semicondutor do LED, onde elétrons e buracos (lacunas) se combinam e liberam energia na forma de luz. A maioria dos LEDs é feita de materiais semicondutores como o silício, o gálio, o arsênio e o fósforo. Esses materiais são escolhidos com base em suas propriedades elétricas e ópticas específicas. A energia dos fótons emitidos depende diretamente do tamanho do intervalo de energia (Energia de *gap*) entre os níveis eletrônicos do material semicondutor. Os chamados “semicondutores de *gap* direto” são mais eficientes na conversão de energia elétrica em luz. A energia de *gap* é responsável pela cor da luz emitida pelo LED, que pode variar de ultravioleta a infravermelho, dependendo dos materiais utilizados.

A COR DO LED



A cor da luz emitida por um LED é determinada pelo material semicondutor utilizado, não pela cor da cápsula plástica que o envolve. LEDs coloridos podem vir em cápsulas de plástico branco, difuso ou transparente. A escolha do material semicondutor define a cor específica que o LED emitirá.

2º MOMENTO DA AULA (20 MINUTOS):

EXPLORANDO CORES: DESCOBRINDO OS SEGREDOS DOS LEDS

Os LEDS fascinaram os físicos devido à sua importância eletrônica e sua aplicação nos mais diversos equipamentos optoeletrônicos, aparelhos de som e vídeo e outros equipamentos eletrônicos. Diante de nosso estudo sobre semicondutores, resolvemos explorar as cores dos LEDS, identificando de que eles são feitos. Apresentaremos um circuito montado em uma placa de protoboard em que os alunos colocam o LED em um circuito na placa de protoboard para que identifiquem as cores. Com base na tabela a seguir, as equipes catalogaram aproximadamente do que é feito o LED a partir de suas observações.

TABELA DE CORES

Comp. Onda (nm)	Cor	Tensão Fwd (Vf@20mA)	Intensidade 5mm LEDs	Ang°	LED Material
940	Infravermelho	1.5	16mW @50mA	15°	GaAlAs/GaAs
880	Infravermelho	1.7	18mW @50mA	15°	GaAlAs/GaAs
850	Infravermelho	1.7	26mW @50mA	15°	GaAlAs/GaAs
660	Ultra Red	1.8	2000mcd @50mA	15°	GaAlAs/GaAs
635	High Efficiency Red	2.0	2000mcd @20mA	15°	GaAsP/GaP
633	Super Red	2.2	3500mcd @20mA	15°	InGaAlP
620	Super Orange	2.2	4500mcd @20mA	15°	InGaAlP
612	Super Orange	2.2	6500mcd @20mA	15°	InGaAlP
605	Orange	2.1	1600mcd @20mA	15°	GaAsP/GaP
595	Super Yellow	2.2	5500mcd @20mA	15°	InGaAlP
592	Super Pure Yellow	2.1	7000mcd @20mA	15°	InGaAlP
585	Yellow	2.1	1000mcd @20mA	15°	GaAsP/GaP
4500K	"Incandescent" White	3.6	2000mcd @20mA	20°	SiC/GaN
6500K	Pale White	3.6	4000mcd @20mA	20°	SiC/GaN
8000K	Cool White	3.6	6000mcd @20mA	20°	SiC/GaN
574	Super Lime Yellow	2.4	1000mcd @20mA	15°	InGaAlP
570	Super Lime Green	2.0	1000mcd @20mA	15°	InGaAlP
565	High Efficiency Green	2.1	2000mcd @20mA	15°	GaP/GaP
560	Super Pure Green	2.1	3500mcd @20mA	15°	InGaAlP
555	Pure Green	2.1	80mcd @20mA	15°	GaP/GaP
525	Aqua Green	3.5	10.000mcd @20mA	15°	SiC/GaN
505	Blue Green	3.5	2000mcd @20mA	45°	SiC/GaN
470	Super Blue	3.6	3000mcd @20mA	15°	SiC/GaN
430	Ultra Blue	3.8	100mcd @20mA	15°	SiC/GaN

(IST, [s.d.])

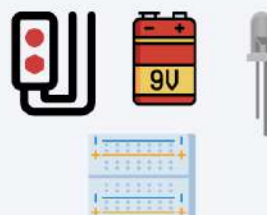
(IST, [s.d.])

EXPERIMENTO DESVENDANDO O MATERIAL DO LED

Materiais:

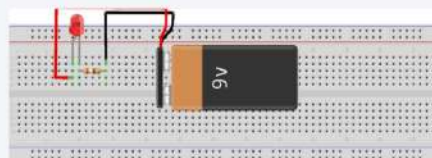
Kit de experimento:

- Placa de protoboard.
- Bateria 9V.
- 4 pares: Resistor e LED de bulbo transparente numerados de 1 a 4.
- 1 conector de bateria 9V.



Orientações:

1. Conecte o conector de bateria no protoboard.
2. Conecte o par resistor e LED.
3. Conecte a bateria de 9V no conector de bateria.
4. Verifique a cor e anote e registre em foto.
5. Repita os procedimentos 2, 3 e 4 para os outros 3 pares de LED - resistor.
6. Após a realização do experimento, aponte a câmera para o QRcode e preencha o formulário.



FORMULÁRIO – LED – AULA 4.

Após a realização do experimento, aponte a câmera para o QR code e preencha o formulário.



FORMULÁRIO - LED:

1. Anexe fotos do procedimento.

2. Identifique a cor que foi encontrada em cada LED.

1	
2	
3	
4	

3. Com base na tabela, escreva de que é constituído cada LED.

1	
2	
3	
4	

4. Formulem um texto explicando como foi aprender sobre semicondutores e os LEDs.



AULA 5

LASER

**Amplificação de luz por
emissão estimulada de
radiação**

OBJETIVOS:

- Compreender um pouco da história do LASER
- Correlacionar os elementos atômicos e a emissão de luz
- Compreender como acontece a emissão estimulada de luz por radiação

● LASER

Objetivos do 1º tempo (50 minutos):

1. Apresentar o que é LASER e sua história.
2. Discutir sobre a emissão estimulada de luz.
3. Apresentar o funcionamento do LASER.
4. Especificar os tipos de LASER.

ATIVIDADE LASER: OBSERVANDO A COLIMAÇÃO DE UMA LUZ LASER.

Objetivos do 2º tempo (50 minutos):

Comparar a colimação entre luzes LED e LASER.

Metodologia do 2º tempo (50 minutos):

1º Momento: Fazer o teste de colimação em relação à distância de emissão da luz LASER em comparação com a luz LED.

2º Momento: Efetuar a comparação entre as luzes.

1º tempo (50 minutos):

História do LASER.

A descoberta do LASER passa pela compreensão da natureza da luz, assunto já destacado em nosso material. Com isso, as tecnologias baseadas na luz têm um papel importante na transformação das nossas vidas através de contribuições científicas que evoluíram até a criação do LASER.

LASER é o nome do dispositivo que emite luz unidirecional, LASER significa (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) que se traduz como amplificação de luz por emissão estimulada de radiação. Historicamente, o LASER foi criado e aperfeiçoado a partir da descoberta do MASER.



A INVENÇÃO DO MASER

O MASER (Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation), que em português significa "Amplificação de Micro-ondas por Emissão Estimulada de Radiação", foi descoberto por Charles Townes que, estudando espectroscopia de micro-ondas, tentou durante muito tempo fazer átomos amplificarem as oscilações de micro-ondas. Em abril de 1954, Charles, junto com seus alunos, conseguiu criar um oscilador de micro-ondas, o qual denominaram o amplificador de "MASER" (Bretenaker; Treps, 2014).

Charles Townes declara que em 1924 Richard Tolman escreveu: "As moléculas no estado quântico superior podem retornar ao estado quântico inferior de tal forma que reforcem o feixe primário por absorção negativa - será apontado que para experimentos de absorção como geralmente realizados, a quantidade de absorção negativa pode ser negligenciada". Mas foi cerca de 30 anos depois que a utilidade da amplificação por "absorção negativa" foi realmente reconhecida (Bretenaker; Treps, 2014).



("LASER: History & Function", [s.d.])

Este avanço foi fundamental e demonstrou que a emissão estimulada, prevista pela teoria quântica de Albert Einstein, décadas antes, poderia ser usada para criar feixes de radiação coerentes e amplificados.

A TRANSIÇÃO DO MASER PARA O LASER

Após a descoberta do MASER, “O maser tornou-se um campo muito quente” (Bretenaker; Treps, 2014). Começou-se então uma disputa para conseguir chegar a um amplificador óptico, ou seja, amplificar a luz por radiação da luz visível no espectro eletromagnético. O objetivo era manter a luz emitindo fótons amplificando-se através da estimulação dos elétrons no átomo. Charlie chamou inicialmente esse fenômeno de “máscaras óticas” e ofereceu a patente a Bell Labs, que rejeitou a proposta de patente da descoberta, pois não acreditavam que a luz tinha valor para as comunicações, e por isso eles não estavam interessados (Bretenaker; Treps, 2014).

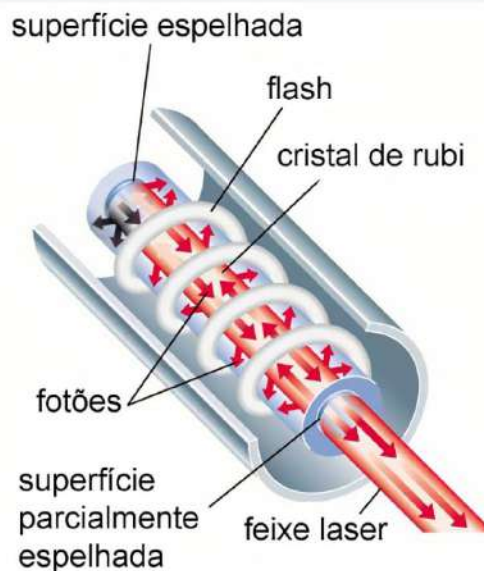
Isso mostrou-se ser um grande equívoco, pois atualmente a luz LASER tem uma grande valia para a comunicação. A luz LASER proporciona um meio altamente eficiente e confiável para transferência de dados, transmitindo informações em longas distâncias com mínima dispersão, tornando-a ideal para comunicações ópticas de alta velocidade, como fibra óptica, comunicação via satélite, entre outras aplicações.



(“The LASER Turns 50 (Images)”, 2010)

A CRIAÇÃO DO PRIMEIRO LASER

A corrida para criar o primeiro LASER começou. Contudo, foi em 1960 que Theodore Maiman, trabalhando nos Laboratórios de Pesquisa Hughes, conseguiu criar o primeiro LASER de rubi. Utilizando um cristal de rubi, que é composto por Dióxido de Alumínio (Al_2O_3) como meio de ganho e uma lâmpada de flash para bombear energia para o sistema, Maiman produziu um feixe de luz coerente, intenso e colimado. Este foi o nascimento do LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation).



A EMISSÃO ESTIMULADA: CAVIDADE RESSONANTE

O LASER, assim como o MASER, é simplesmente um oscilador de elétrons do átomo. Essencialmente, esses convertem a energia da fonte de alimentação em energia na frequência de oscilação. O átomo excitado que emite luz é em si um oscilador óptico. Quando o elétron passa por uma transição entre dois níveis de energia com diferença de energia ($\Delta E = h \cdot \nu$), ele produz um fóton na frequência ν , onde h é a constante de Planck.

A transição pode ser considerada como um oscilador com frequência de ressonância ν . Esses átomos idênticos emitem fótons de forma independente, em direções aleatórias e sem fase comum. A ressonância relatada é análoga a um sistema de acústica, como se fosse um conjunto de diapasões tocados de forma independente, como uma grande orquestra.



COMPONENTES DO LASER

1. MEIO ATIVO (MEIO DE GANHO):

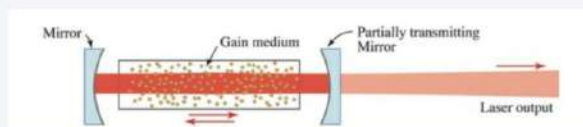
- Este é o material no qual a emissão estimulada ocorre. Pode ser um sólido, líquido, gás ou semiconductor. Exemplos incluem cristais de rubi (LASER de rubi), gás hélio-neônio (LASER de hélio-neônio) ou materiais semicondutores (LASER de diodo).

2. FONTE DE ENERGIA (OU BOMBEAMENTO):

- A energia é fornecida ao meio ativo para excitar os elétrons que formam os átomos, elevando-os a um estado de alta energia (estado excitado). Isso pode ser feito de várias maneiras, incluindo bombeamento óptico (lâmpadas de flash ou outros LASER), descarga elétrica (corrente elétrica através de um gás) ou injeção elétrica (em LASER de diodo).

3. SISTEMA DE RESSONÂNCIA (OU CAVIDADE ÓPTICA):

- Consiste em dois espelhos colocados em ambos os lados do meio ativo. Um dos espelhos é totalmente refletivo, enquanto o outro é parcialmente refletivo, permitindo que uma parte do feixe de luz escape como o feixe de LASER.



O FUNCIONAMENTO DO LASER

O LASER funciona através do processo de emissão estimulada de radiação.

PROCESSO DE OPERAÇÃO

1. BOMBEAMENTO DE ENERGIA:

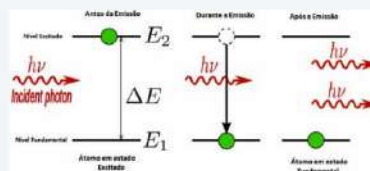
- A fonte de energia excita os átomos ou moléculas do meio ativo, elevando-os a estados de alta energia. Este processo cria uma população de átomos ou moléculas excitadas.

2. EMISSÃO ESPONTÂNEA:

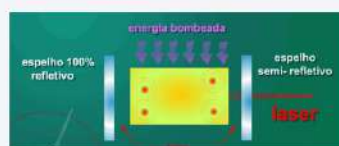
- Alguns átomos ou moléculas excitadas retornam ao estado de energia mais baixa (estado fundamental) espontaneamente, emitindo fótons de luz no processo, devido a flutuações aleatórias. Esta luz tem uma direção e fase aleatórias.

3. EMISSÃO ESTIMULADA:

- Quando um fóton de luz passa perto de um átomo ou molécula excitada, ele pode induzir esse átomo a retornar ao estado fundamental, emitindo um segundo fóton com a mesma direção, fase e comprimento de onda do fóton original. Isso é conhecido como emissão estimulada. Nesse processo, as fases dos campos são correlacionadas e, em consequência, a radiação é coerente.



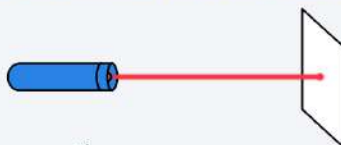
4. AMPLIFICAÇÃO DE LUZ:



- Os fótons gerados por emissão estimulada são refletidos pelos espelhos do sistema de ressonância, passando repetidamente pelo meio ativo e estimulando a emissão de mais fótons coerentes. Esse processo amplifica a luz dentro da cavidade.

5. EMISSÃO DO FEIXE DE LASER:

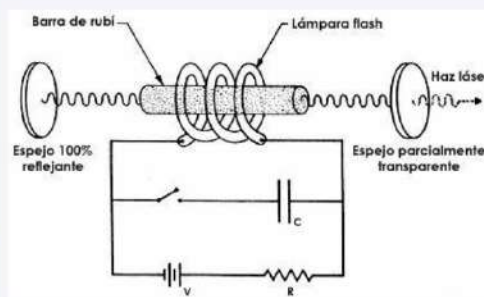
- O feixe de luz amplificado se torna suficientemente intenso. Uma parte desse feixe passa pelo espelho parcialmente refletivo, emergindo como o feixe de LASER.



TIPOS DE LASER

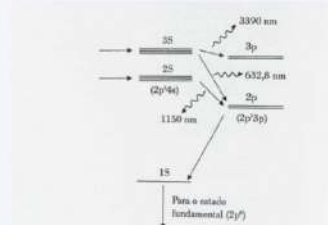
1. LASER DE ESTADO SÓLIDOS:

- São dispositivos constituídos por sólidos com impurezas, em que o material sólido dopado com íons de impurezas, é colocado em uma cavidade óptica formada por dois espelhos externos, sendo um deles totalmente refletor enquanto o outro transmite uma pequena radiação incidente. Os estados das impurezas são populados por bombeamento óptico, produzido por lâmpadas de flash.



(BRICOTRONIKA, 2015)

- O LASER de rubi é dopado por íons de cromo e leva a um decaimento de elétrons em um tempo curto, gerando uma radiação de comprimento de onda de 694,03nm, que se caracteriza pela cor vermelha. Para gerar radiação contínua, o LASER emite pulsos em uma taxa de repetição determinada pelo circuito de descarga.
- 2. LASER DE GÁS:**
 - Nos LASER a gás, a emissão estimulada ocorre entre estados quânticos de átomos ou moléculas, que são em geral excitados por meio de colisões numa descarga elétrica. A alta tensão aplicada aos eletrodos do tubo mantém uma descarga elétrica no gás, que pode estar confinado ou circulando. O LASER de Hélio-Neônio foi o primeiro LASER a gás descoberto. As transições $3s^2-3p^6$ e $2s^2-2p^6$ ocorrem no infravermelho, enquanto a transição $3s^2-2p^6$ tem comprimento de onda 632,8nm, situada na região vermelha do espectro. O LASER de He-Ne é de fabricação simples e opera continuamente com baixa corrente, sendo por isso, muito utilizado numa grande variedade de aplicações de baixa potência (alguns mW).
 - Outro LASER a gás importante com radiação de luz visível é o LASER de Argônio. Ele opera com transições eletrônicas nos íons de Ar (Argônio), produzindo radiação em várias linhas do espectro visível. As mais intensas ocorrem nos comprimentos de onda 488nm (azul) e 514,5nm (verde).



Gás LASER [Internet].

3. LASER DE FIBRA :

O LASER de fibra é um dispositivo onde uma fibra óptica é dopada com elementos de terras raras como: Disprósio, Érbio, Nólmio, Neodímio, Praseodímio, Túlio ou Itérbio. Em um LASER de fibra, troca-se o gás por uma fibra óptica de vidro de sílica. Essa fibra é então “dopada” quando um pouquinho de um dos elementos de terras raras é adicionado a essa fibra. Então, os átomos que compõem o meio do LASER são colocados dentro dessa fibra e dopados com esses elementos de terras raras.

Os fótons emitidos que são confinados dentro do núcleo de fibra dopada é que realizam a função do LASER. Na história, os LASERs de fibra foram inventados por Elías Snitzer, em 1963. No entanto, os primeiros modelos comerciais só apareceram no mercado no final dos anos 1980.



(TELESIS, 2019)

4. LASER DE LÍQUIDO :

Esse é um tipo de LASER que utiliza um corante orgânico como meio ativo, geralmente em solução líquida. Diferente dos LASER a gás e da maioria dos LASER de estado sólido, os LASER de corantes podem operar em uma faixa muito mais ampla de comprimentos de onda, frequentemente variando entre 50 e 100 nanômetros ou mais. Os corantes empregados nesses LASER contêm grandes moléculas orgânicas que emitem fluorescência.



(“LASER a Colorante DIY”, [s.d.])

No entanto, os corantes líquidos possuem um limiar de lasing extremamente alto. Para fornecer a energia necessária para ativar o corante e induzir a emissão LASER, é comum o uso de um LASER de nitrogênio pulsado externo.

5. LASER SEMICONDUTOR :

O LASER de diodo semicondutor, mais conhecido como LASER de diodo, tem dimensões milimétricas, baixo custo e requer baixa potência de alimentação. Ele foi descoberto em 1962, inicialmente com junção simples de GaAs (Arseneto de Gálio) e operava em temperatura de hélio líquido (4,2 K) com correntes altas. Zhores Alferov e o alemão-americano Herbert Kroemer mostraram a possibilidade de aumentar o ganho do LASER com um confinamento de elétrons e buracos em heterojunções.

Atualmente, são feitos com heterojunções múltiplas de ligas de semicondutores de gap direto. Operam à temperatura ambiente e com baixas correntes, e produzem potências de luz que variam de alguns mW. O LASER de diodo semicondutor tornou-se um componente essencial dos sistemas de comunicação óptica, de inúmeros equipamentos eletrônicos e de outras aplicações.



2º tempo (50 minutos):

CONFLITO DE FEIXES: DESCOBRINDO A COLIMAÇÃO

Nesta atividade, vocês irão comparar a luz emitida por um LASER e uma lanterna LED. Vamos observar como o feixe permanece colimado (paralelo) ao longo de distâncias maiores. Através deste experimento, iremos compreender as diferenças entre essas duas fontes de luz e debater suas aplicações práticas. Preparem-se para explorar as propriedades da luz de maneira divertida e visual!

DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE:

1. Os alunos serão divididos em grupos e receberão um conjunto de materiais que inclui um ponteiro LASER, uma lanterna LED, régua ou fita métrica para registro das observações. A atividade será realizada em um ambiente de luminosidade controlada, para maximizar a visibilidade dos feixes de luz.
2. Os alunos iniciarão a experiência ao alinhar o LASER e a lanterna de LED, medindo e comparando o tamanho dos feixes projetados na parede branca ou quadro branco posicionados a diferentes distâncias. Eles registrarão o diâmetro do ponto de luz em cada papel e, ao final, compararão os resultados para entender como a colimação do LASER difere da dispersão da luz emitida pela lanterna.

MATERIAIS NECESSÁRIOS:

- Um ponteiro LASER (de cor verde ou vermelha, preferencialmente).
- Uma lanterna LED comum.
- Régua ou fita métrica.
- Parede ou quadro branco.
- Suportes para manter os papéis em pé (pode ser uma parede ou um suporte de papel).
- Um ambiente escuro ou controlado (para melhor visualização do feixe).
- Óculos de proteção de radiação.



PROCEDIMENTO:

1. Configuração Inicial:

- Coloque tanto o ponteiro LASER quanto a lanterna LED em posições fixas, lado a lado, apontando-os em linha reta ao longo de uma mesa ou de uma bancada.
- Certifique-se de que ambos estejam alinhados na mesma direção e que seus feixes possam ser projetados nos papéis.

2. Medição da Largura do Feixe com o LASER:

- Coloque o primeiro papel branco a uma distância curta do LASER, como 20 cm.
- Ligue o LASER e marque no papel o tamanho do ponto de luz.
- Repita a medição com o segundo papel colocado a uma distância maior, como 50cm.
- Continue repetindo em distâncias progressivamente maiores, como 1 metro e 1,5 metros.

3. Medição da Largura do Feixe com a Lanterna LED:

- Repita o mesmo processo com a lanterna LED, alinhando o feixe no centro dos papéis.
- Marque o tamanho do ponto de luz no papel em cada distância (20 cm, 50 cm, 1m, 1,5 m).

4. Observação e Comparação:

- Compare o tamanho dos pontos de luz projetados pelo LASER e pela lanterna LED em cada uma das distâncias.
- O LASER deve manter um feixe colimado, com pouca ou nenhuma variação no tamanho do ponto de luz.
- A lanterna LED, por outro lado, deve mostrar uma dispersão significativa, com o ponto de luz aumentando de tamanho à medida que a distância do papel aumenta.
- Aponte a câmera para o QR code e discuta os resultados no formulário.

FORMULÁRIO.

Aponte a câmera para o QR code e responda ao formulário.



FORMULÁRIO.

1. Anexe fotos do procedimento.

2. Qual foi o diâmetro da circunferência do feixe de LASER para as distâncias de 20 cm, 50 cm, 1 m e 1,5 m?

3. Qual foi o diâmetro da circunferência do feixe da lanterna para as distâncias de 20 cm, 50 cm, 1 m e 1,5 m?

4. Por que acontece essa diferença entre os feixes de luz?



AULA 6

APLICAÇÕES DOS LEDS X LASER

E

AVALIAÇÃO FINAL DO PRODUTO

- Realizar uma atividade interativa na busca de identificar a aplicação das tecnologias estudadas no produto educacional
- Criar um protótipo para mostrar o funcionamento da tecnologia
- Avaliar os trabalhos desenvolvidos durante todo o produto educacional



APLICAÇÕES DOS LEDS X LASER

ATIVIDADE CAÇA AO TESOURO TECNOLÓGICO.

Objetivos:

1. Realizar trabalho em equipe.
2. Discutir sobre a aplicação do LED e LASER.
3. Criar um mapa mental.
4. Criar um protótipo do equipamento que contém LASER ou LED em sua pesquisa.

METODOLOGIA DO CAÇA AO TESOURO TECNOLÓGICO:

1º Momento: As equipes passarão por um sorteio em que serão definidas 2 equipes para LEDs e 2 para LASER. Cada equipe trabalhará uma área de aplicação do LASER ou do LED (por exemplo, medicina, comunicação, indústria, entretenimento).

2º Momento: As equipes devem pesquisar e criar um mapa conceitual ou infográfico que represente as diferentes aplicações e avanços tecnológicos nessa área, destacando o papel do LASER ou do LED. Os alunos podem incluir exemplos específicos de tecnologias e dispositivos em seus mapas conceituais.

3º Momento: Desafio de Design de Produto.

ATIVIDADE CAÇA AO TESOURO TECNOLÓGICO

A aula trabalhará com a aplicação dos LASER e dos LEDs através de aulas interativas. Baseado no que já aprendemos, os alunos em suas equipes trabalharam apenas em duas atividades que envolvem os LEDs e LASER. A primeira atividade, Caça ao Tesouro Tecnológico, os alunos, em suas equipes, passarão por um sorteio em que serão definidas 2 equipes para LEDs e 2 para LASER. Cada equipe trabalhará uma área de aplicação do LASER ou do LED (por exemplo, medicina, comunicação, indústria, entretenimento).

MAPA CONCEITUAL TECNOLÓGICO

As equipes devem pesquisar e criar um mapa conceitual ou infográfico que represente as diferentes aplicações e avanços tecnológicos nessa área, destacando o papel do LASER ou do LED. Os alunos podem incluir exemplos específicos de tecnologias e dispositivos em seus mapas conceituais.

DESAFIO DE DESIGN DO PRODUTO

Os alunos serão desafiados a criar um produto que incorpore tanto o LASER quanto o LED de forma inovadora na área em que foram sorteados. Cada equipe deve desenvolver um conceito de produto, criar um protótipo simples (pode ser um desenho, maquete ou modelo digital). Após a criação do protótipo, os alunos darão um nome ao seu protótipo, que será exposto no corredor para que os demais alunos da instituição possam observar o estudo do LASER.



AVALIAÇÃO FINAL

OBJETIVOS:

1. Identificar o quanto os alunos conseguiram aprender sobre o funcionamento dos LASER e LEDs.
2. Avaliar as atividades desenvolvidas.

METODOLOGIA:

1: Momento: Individualmente, os alunos responderam a um formulário contendo questões sobre o funcionamento do LED e LASER.

2º Momento: Os alunos responderam a um formulário contendo uma autoavaliação sobre o quanto eles participaram das atividades e o quanto essas atividades contribuíram para a compreensão do funcionamento dos LED e LASER.

FORMULÁRIO SOBRE O FUNCIONAMENTO DOS LEDS E LASER

1) Qual é a diferença entre luz visível e outras radiações eletromagnéticas?

- (A) A luz visível tem maior comprimento de onda que as outras radiações.
- (B) A luz visível é a única forma de radiação que pode ser percebida pelo olho humano.
- (C) A luz visível tem menor energia que todas as outras radiações.
- (D) A luz visível não interage com a matéria.

2) O que é o efeito fotoelétrico?

- (A) Emissão de elétrons de um metal quando ele é aquecido.
- (B) Emissão de elétrons de um metal quando ele é iluminado com luz de alta frequência.
- (C) Emissão de luz quando um elétron salta de uma órbita para outra.
- (D) Absorção de luz por um elétron.

3) Como o efeito fotoelétrico está relacionado ao funcionamento de um LED?

- (A) LEDs utilizam o efeito fotoelétrico para emitir luz.
- (B) LEDs utilizam o efeito fotoelétrico para gerar eletricidade.
- (C) LEDs dependem da emissão de fótons devido à recombinação de elétrons e buracos.
- (D) LEDs utilizam o efeito fotoelétrico para absorver luz.

4) Como os saltos quânticos geram luz?

- (A) Os elétrons saltam para níveis de energia mais altos e emitem luz.
- (B) Os elétrons saltam para níveis de energia mais baixos e emitem luz.
- (C) A luz é gerada quando os elétrons permanecem no mesmo nível de energia por muito tempo.
- (D) Os elétrons vibram, emitindo luz.

5) Explique o princípio de funcionamento de um LED.

- (A) Emissão de luz por aquecimento de um filamento.
- (B) Emissão de luz por recombinação de elétrons e buracos em um semicondutor.
- (C) Emissão de luz por radiação de corpo negro.
- (D) Emissão de luz por excitação de gases.

6) Como a cor emitida por um LED depende dos materiais semicondutores?

- (A) A cor depende do tamanho do LED.
- (B) A cor depende da corrente elétrica aplicada.
- (C) A cor depende dos materiais semicondutores e da energia de bandgap.
- (D) A cor depende do formato do LED.

7) O que é emissão estimulada e por que é importante para lasers?

- (A) Emissão de luz por excitação térmica, crucial para lasers.
- (B) Emissão de luz por recombinação de elétrons e buracos.
- (C) Emissão de fótons induzida por fótons incidentes, resultando em luz coerente.
- (D) Emissão de fótons por absorção de energia.

8) Qual é a diferença entre a luz de um laser e a luz de um LED?

- (A) A luz de um laser é incoerente e divergente.
- (B) A luz de um LED é coerente e monocromática.
- (C) A luz de um laser é coerente, monocromática e colimada.
- (D) A luz de um LED é polarizada.

FORMULÁRIO SOBRE O FUNCIONAMENTO DOS LEDS E LASER



FORMULÁRIO DE AUTOAVALIAÇÃO SOBRE AS APLICAÇÕES PRÁTICAS DO PRODUTO EDUCACIONAL.

Baseadas na escala Likert, cada pergunta deve ser respondida usando a seguinte escala:

1. Discordo totalmente.
2. Discordo.
3. Neutro.
4. Concordo.
5. Concordo totalmente.



1) Ondas Eletromagnéticas:

- Eu entendo claramente a diferença entre luz visível e outras formas de radiação eletromagnética.

2) Efeito Fotoelétrico:

- Eu consigo explicar como o efeito fotoelétrico contribui para o funcionamento dos LEDs.

3) Salto Quântico:

- Eu compreendo como os saltos quânticos em um átomo estão relacionados à emissão de luz nos LEDs.

4) Funcionamento dos LEDs:

- Eu estou confiante em minha habilidade de explicar o princípio de funcionamento dos LEDs.

5) Funcionamento dos lasers:

- Eu entendo a importância da emissão estimulada no funcionamento dos LASER.

6) Comparação entre LEDs e LASER:

- Eu posso descrever claramente a principal diferença no mecanismo de emissão de luz entre LEDs e LASER.

7) Aplicações Práticas:

- Eu sou capaz de identificar e explicar pelo menos três aplicações práticas tanto para LEDs quanto para LASER.

8) Eficiência Energética:

- Eu compreendo por que os LEDs são considerados mais eficientes energeticamente em comparação com as lâmpadas incandescentes.

FORMULÁRIO DE AUTOAVALIAÇÃO SOBRE AS APLICAÇÕES PRÁTICAS DO PRODUTO EDUCACIONAL.





CONSIDERAÇÕES FINAIS.

A compreensão das ondas eletromagnéticas e seu espectro é essencial para distinguir entre diferentes formas de radiação, especialmente quando discutimos luz visível em comparação com outras radiações. Este conhecimento é fundamental para entender como os LEDs e LASER funcionam, uma vez que ambos são dispositivos que manipulam radiação eletromagnética de maneiras específicas para gerar luz visível ou outras formas de energia.

Explorar o efeito fotoelétrico nos proporcionou uma visão detalhada sobre como a luz pode liberar elétrons de materiais, um princípio crucial para o funcionamento de dispositivos semicondutores como fotodetectores. No processo inverso, os LEDs usam elétrons para emitir luz. Porém, revertendo a lógica dos LEDs em um experimento onde o LED é exposto à luz e conectado a um voltímetro, pudemos estudar ambas as conversões luz - corrente elétrica e corrente elétrica - luz, exemplificando assim a conexão direta entre luz e matéria e entre teoria e tecnologia, destacando a importância dos fundamentos científicos na inovação tecnológica.

Os saltos quânticos, embora abstratos em sua natureza, são vitais para explicar a emissão de luz em LEDs. A transição de elétrons entre níveis de energia resulta na liberação de fótons, um processo que é essencial para a produção de luz eficiente em dispositivos de iluminação modernos. Entender esses fenômenos quânticos nos ajuda a perceber a sofisticação e a precisão necessárias para desenvolver tecnologias que dependem de emissões controladas de luz.

Por fim, ao abordar o funcionamento dos LASER, vimos como a emissão estimulada cria um feixe de luz coerente, altamente colimado e intenso, diferindo fundamentalmente da emissão espontânea dos LEDs. Esta diferença permite que os lasers sejam utilizados em aplicações que exigem alta precisão, como cirurgias médicas, corte industrial e comunicação óptica. Reconhecer as distinções e semelhanças entre LED e LASER nos capacita a escolher a tecnologia adequada para diferentes necessidades e inovações.

Em suma, o estudo desses tópicos nos proporciona uma base sólida e interconectada de conhecimentos científicos e suas aplicações práticas. Através deste aprendizado, estamos melhor preparados para compreender e contribuir para o avanço contínuo da tecnologia, aplicando conceitos fundamentais da física em soluções inovadoras que moldam o futuro.

REFERÊNCIAS

- ABDALLA, M. C. B. **O discreto charme das partículas elementares**. São Paulo: Editora UNESP, 1954.
- BAGNATO, V. S. **Laser e suas aplicações em Ciência e Tecnologia**. São Paulo: Livraria da Física, 2008.
- BARBOSA, P. M. R. O Construtivismo e Jean Piaget. **Educação Pública**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 1-10, dez. 2015. Disponível em: [https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/15/12/o-construtivismo-e-jean-piaget#:~:text=Construtivismo%20%C3%A9%20uma%20teoria%20sobre,escrita%20\(Nunes%20%201990\).%20https://maestrovirtuale.com/construtivismo-origem-contexto-historico-teoria-e-autores/?expand_article=1](https://educacaopublica.cecierj.edu.br/artigos/15/12/o-construtivismo-e-jean-piaget#:~:text=Construtivismo%20%C3%A9%20uma%20teoria%20sobre,escrita%20(Nunes%20%201990).%20https://maestrovirtuale.com/construtivismo-origem-contexto-historico-teoria-e-autores/?expand_article=1). Acesso em: 10 fev. 2025.
- BREtenaker, F.; TREPS, N. **LASER**: 50 anos de descobertas. Camberra: World Scientific Publishing Company, 2014.
- EISBERG, R. M.; RESNICK, R. **Física Quântica**: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas. Rio de Janeiro: Campus, 1994.
- NICOLAU, P. **Os Fundamentos da Física**. São Paulo: Cursos do Blog, 2014. Disponível em: https://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2014/11/cursos-do-blog-eletricidade_12.html. Acesso em: 10 maio 2024.
- NOVAES, M.; STUDART, N. **Mecânica quântica básica**. São Paulo: Livraria da Física, 2016.
- REZENDE, S. M. **Materiais e dispositivos eletrônicos**. 4. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2015.
- SILVA, F. W. O. da. A evolução da teoria ondulatória da luz e os livros didáticos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 29, n. 1, p. 149-159, dez. 2007. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/wXbCrhcZ79KtDZ5FZmtK8hM/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 10 fev. 2025.